

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



TESIS

**DISEÑO Y VALIDACIÓN DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN
DE DATOS EN RUTA PARA USO GENERAL
EN VEHÍCULOS DE TRANSPORTE**

POR

IRVING ALONSO GALLARDO ARAUJO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

MAYO, 2016

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



TESIS

**DISEÑO Y VALIDACIÓN DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN
DE DATOS EN RUTA PARA USO GENERAL
EN VEHÍCULOS DE TRANSPORTE**

POR

IRVING ALONSO GALLARDO ARAUJO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

MAYO, 2016

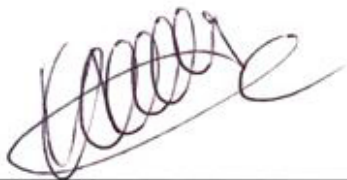
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la tesis "*Diseño y Validación de Sistema de Adquisición de Datos en Ruta para uso General en Vehículos de Transporte*" realizada por el alumno **Irving Alonso Gallardo Araujo** con número de matrícula **1696244** sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Automotriz.



Dra. Tania Paloma Berber Solano

Asesor



Dr. Héctor Rafael Siller Carrillo
Co-asesor



M.C. Pedro Antonio Orta Castañón
Revisor

El Comité de Tesis

Vo. Bo.



Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Dra. Tania Paloma Berbers Solano y al Dr. Héctor Rafael Siller Carrillo, asesores de mi tesis por su invaluable colaboración y también por formar parte del Comité de Tesis. Así como al M.C. Pedro Antonio Orta Castañón y a la Ing. Laura Isabel Piña Palomino por el apoyo incondicional ofrecido en todo el desarrollo de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de mis estudios de Postgrado.

Al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIDET) y al Centro de Tecnología Avanzada para la Producción (CETEC) por facilitarme el uso de sus equipos e instalaciones, así como su gran contribución en el desarrollo de este estudio.

A mi familia por ser un pilar esencial en mi vida y por el gran apoyo que siempre me han brindado y a todas las personas y/o instituciones que contribuyeron de forma directa o indirecta en la realización de este trabajo.

RESUMEN.

Actualmente, en la realización de cualquier trabajo de investigación, la conversión de la información cualitativa a cuantitativa se ha vuelto un proceso clave de gran valor para cualquier empresa o institución que se preocupe por analizar a detalle problemáticas ingenieriles, que pretendan entender y solucionar de una manera óptima. Contando con la capacidad de reducir el espectro de errores e incurrir en inversiones innecesarias de recursos.

Por medio de la realización de este trabajo se ofrece una configuración básica funcional para la implementación de un sistema de recolección de información cuantitativa de aspectos de interés de vehículos de transporte. En particular de aquellos manufacturados por la empresa Navistar® (Anexo I). En este documento se exponen cinco capítulos de los que se desprenden los siguientes apartados: en el capítulo uno se describe la parte introductoria del proyecto, los antecedentes del problema, objetivos de investigación, justificación, limitación y alcance de la investigación. En el capítulo dos se detalla el marco teórico, el cual incluye fundamentos técnicos y estado de la técnica. En el capítulo tres se describe el tipo de investigación, las fases de investigación, vehículo de estudio, así como también el proceso de instrumentación. En el cuarto capítulo se expone todo lo referente al análisis de la información así como resultados obtenidos. Finalmente, en el capítulo cinco se ofrecen las conclusiones y recomendaciones del proyecto así como también los trabajos futuros que se pudieran llevar a cabo como consecuencia de este trabajo. Todo lo anterior con la intención de proponer un proyecto de investigación “ad hoc” a las necesidades académicas y a los requerimientos de la empresa en cuestión.

Este proyecto de tesis tiene como objetivo primordial sentar las bases de estudio para la implementación de la metodología “RLDA” o adquisición de datos de carga en ruta para vehículos de transporte. Lo anterior, con los recursos que se cuentan actualmente y ajustándolo a los requerimientos de solicitud de información que la empresa requiere para realizar los análisis necesarios. Esto no solo para conocer el comportamiento de sus productos en el accionar día a día, sino también para una futura implementación de mejoras que beneficien la adaptación de los camiones a un mercado específico como lo es el mexicano. Permitiendo así aportar un valor agregado a sus vehículos con respecto a la competencia al brindar productos y servicios personalizados al consumidor.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	II
CONTENIDO	III
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
NOMENCLATURA.....	XIII
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes del Problema.....	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.	5
1.3.1 Objetivo General.	5
1.3.2 Objetivos Específicos.	5
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Justificación e Importancia de la Investigación.....	6
1.6 Alcance de la investigación.	6
1.7 Limitaciones de la Investigación.	7
1.8 Estado del Arte.	7
1.8.1 Instrumentación.....	8
1.8.2 Programación.....	10
1.8.3 Diseño de Prueba.....	11
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1 Fundamentos Teóricos.....	15

2.1.1 Durabilidad	15
2.1.2 Eficiencia	15
2.1.3 Seguridad	16
2.1.4 Ingeniería	16
2.1.5 Innovación	17
2.2 Fundamentos Técnicos.	17
2.2.1 Acelerómetro	20
2.2.2 Galgas Extensiométricas	20
2.2.3 Termopar	20
2.2.4 Celda de carga	21
2.2.5 Sensor de fuerzas en rueda	21
2.3 Acelerómetros.....	21
2.3.1 Clasificación de Acelerómetros.	22
Microelectromecánicos (MEMS).	22
Piezoeléctricos.....	23
Piezoresistivos.	23
Circuitos Integrados.	24
2.3.2 Consideraciones para la Elección de un Acelerómetro.	26
2.3.3 Interpretación de la Información Recolectada con un Acelerómetro.	27
2.4 Galgas Extensiométricas.	27
2.4.1 Clasificación de Galgas	29
Según el Tipo de Material	29
Galgas Metálicas.....	29
Galgas Semiconductora.	30
Según su Forma de Implementación.	31

Galgas Soldadas.	31
Galgas Desoldadas.	31
Según su Geometría.	32
Galga Uniaxial.	32
Galga Biaxial.....	32
Galga Tipo Roseta.....	33
2.4.2 Consideraciones para la Elección de un Galga Extensiométrica.	33
Longitud de la Galga.	34
Patrón del Elemento Sensible.....	34
Serie de la Galga.	34
Opciones (si existen):.....	35
Resistencia de la Galga.	35
Número STC.	35
2.4.3 Interpretación de la Información Recolectada con una Galga Extensiométrica.	35
CAPÍTULO III.....	38
MARCO METODOLÓGICO.....	38
3.1 Tipo de Investigación.....	38
3.2 Fases de la Investigación.	38
3.2.1 Fase 1: Investigación, Documentación y Estado del Arte.....	38
3.2.2 Fase 2: Selección y Adquisición de Materiales y Equipos.....	41
3.2.3 Fase 3: Configuración del Equipo de Adquisición de Datos.	48
3.2.4 Fase 4: Diseño y Desarrollo de Sistema de Adquisición de Datos en Ruta.....	49
Etapa 1: Desarrollo de Caja Metálica.....	49
Etapa 2: Ensamble de Componentes.....	52

Etapa 3: Programación en LabView.....	57
3.2.5 Fase 5: Realización de Pruebas de Campo.	62
3.3 Vehículo de Estudio.....	63
3.4 Proceso de Instrumentación.	63
3.4.1 Justificación de Puntos Críticos.....	63
3.4.2 Instrumentación.....	64
CAPÍTULO IV.....	71
4.1 Análisis e Interpretación.	71
4.2 Validación.....	72
CAPÍTULO V.....	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
5.1 Conclusiones.	73
5.2 Recomendaciones.....	74
5.3 Trabajos Futuros.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXO I	83
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	83
Reseña Histórica.	83
Filosofía de la Empresa.	85
Innovación.....	85
Emisiones.....	85
Gas Natural.	86
Manufactura.	86
Visión de la Empresa.....	87
Infraestructura.	87

Productos y Servicios.	88
Camiones.	88
Autobuses.	88
Vehículos de Defensa.	88
Motores Diesel.	88
ANEXO II	89
ANÁLISIS DE GARANTÍAS EN CAMIONES PROSTAR® EN MÉXICO PERIODO 2000-2015.	89
ANEXO III	90
TABLA DE SELECCIÓN DE LA SERIE ESTÁNDAR DE UNA GALGA EXTENSIOMÉTRICA.....	90
ANEXO IV	93
TABLA DE SELECCIÓN DEL NÚMERO STC DE UNA GALGA EXTENSIOMÉTRICA.....	93
ANEXO V	95
PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS EN INSTALACIONES DE NAVISTAR® ESCOBEDO.....	95
ANEXO VI	96
TABLA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	96
ANEXO VII	98
CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI cRIO-9014.	98
ANEXO VIII.....	108
ESCENARIOS REPLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS EN RUTA.	108
ANEXO IX.....	109

ESTUDIO PARA DEFINICIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS A INSTRUMENTAR.	
.....	109
ANEXO X.....	110
ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS EN RUTA.	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características eléctricas y requerimientos básicos de acondicionamiento de señales para los transductores más comunes (National Instruments, 2015).	18
Tabla 3.1 Comparativa de equipos de adquisición de datos.....	40
Tabla 4.1 Utilización de sensores en la prueba.	72
Tabla AIV-1. “Precision Strain Gages”. Adaptado Vishay Precision Group (2010).	94
Tabla AVI-1 Materiales de Equipo de Adquisición de Datos.	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Reclamos de garantías anuales. *El año 2015 sólo se contabilizó hasta el mes de febrero.	3
Figura 2.1 Integración de características primordiales.....	16
Figura 2.2 Sistema de adquisición de datos. Adaptado National Instruments, 2015.....	19
Figura 2.3 Sistema microelectromecánico para aceleración en un eje (Herrera et al., 2008).....	22
Figura 2.4 Sistema piezoeléctrico. Adaptado de ABC del acelerómetro.....	23
Figura 2.5 Sistema piezoresistivo (Cidaut, 2012).....	24
Figura 2.6 Sistema de microacelerómetro capacitivo (Herrera et al., 2008).....	25
Figura 2.7 Esfuerzo deformación (Sosa, s.f.).....	28
Figura 2.8 Galga extensiométrica metálica. Adaptado de Sosa, s.f.....	28
Figura 2.9 Clasificación de galgas extensiométricas.	29
Figura 2.10 Galga metálica de filamento (Idrovo & Quintanilla, 2010).	30
Figura 2.11 Galga metálica de película (Idrovo & Quintanilla, 2010).	30
Figura 2.12 Galga desoldada (Idrovo & Quintanilla, 2010).	31
Figura 2.13 Galga uniaxial (Idrovo & Quintanilla, 2010).....	32
Figura 2.14 Galga biaxial (Idrovo & Quintanilla, 2010).....	33
Figura 2.15 Galgas tipo roseta (Sosa, s. f).	33
Figura 2.16 Selección de tipo de galga (Sosa, s. f).....	34
Figura 2.17 Puente de Wheatstone. (National Instruments, 2015)	36
Figura 2.18 Circuito para medición con galga extensiométrica. (National Instruments, 2015)	37
Figura 3.1 Sistema cRIO-9014 (National Instruments, 2015).	43
Figura 3.2 Chasis cRIO-9104 de 8 slots (National Instruments, 2015).	43
Figura 3.3 Módulo NI 9205 (National Instruments, 2015).	44
Figura 3.4 Módulo NI 9233 (National Instruments, 2015).	44
Figura 3.5 Módulo NI 9852 (National Instruments, 2015).	45
Figura 3.6 Módulo NI 9853 (National Instruments, 2015).	46

Figura 3.7 Acelerómetro 2220-100. Adaptado de Silicon Design, 2011.....	47
Figura 3.8 Galga Extensiométrica seleccionada (Vishay Presicion Group, 2010).	47
Figura 3.9 Cable Belden para instrumentación (Belden, 2013).	48
Figura 3.10 Diseño caja metálica en NX. (Ricardo Cárdenas, 2015).....	50
Figura 3.11 Proceso de corte y doblado de las partes de la caja.....	51
Figura 3.12 Dobles de la base de la caja. (Ricardo Cárdenas, 2015)	51
Figura 3.13 Conectores de sensores instalados.	52
Figura 3.14 Conectores etiquetados y bases.....	53
Figura 3.15 Conexión de cable de datos.	53
Figura 3.16 Circuito para conexión de galgas.....	54
Figura 3.17 Circuito de conexión de amplificador de instrumentación. Adaptado Burr-Brown, 1998.....	55
Figura 3.18 Circuito de conexión eléctrica.	56
Figura 3.19 Estructura interna del equipo DAQ.	56
Figura 3.20 Estructura del proyecto de programación de Labview.	58
Figura 3.21 Visualización de información en el software.	59
Figura 3.22 Programación en Labview para recolección de datos de galgas extensiométricas.	59
Figura 3.23 Programación en Labview para recolección de datos de acelerómetros.	60
Figura 3.24 “Flat Sequence Structure”.....	61
Figura 3.25 Descripción de las partes que integran la estructura de programación.	62
Figura 3.26 Camión LoneStar® muestra de estudio.....	63
Figura 3.27 Disposición de acelerómetros.	65
Figura 3.28 Conexión acelerómetros.	66
Figura 3.29 Ubicación de soportes donde se instalaron las galga extensiométrica.....	67
Figura 3.30 Superficie del soporte lista para la instalación de la galga extensiométrica.....	68

Figura 3.31 Galgas extensiométricas instaladas.....	70
Figura 3.32 Circuito de puente de Wheatstone.....	70
Figura AVII-1 Ensamble del chasis y el controlador (National Instruments, 2015).	99
Figura AVII-2 Instalación de módulos de la serie C (National Instruments, 2015).	100
Figura AVII-3 Interruptores tipo DIP (National Instruments, 2015).....	100
Figura AVII-4 NIMAX detección del sistema cRIO.	102
Figura AVII-5 NIMAX IP estática.	103
Figura AVII-6 NIMAX selección de configuración de red.	104
Figura AVII-7 NIMAX asignación de nombre.	105
Figura AVII-8 Asistente de instalación de software del controlador (National Instruments, 2015).	106
Figura AVII-9 Instalación de módulos en el controlador (National Instruments, 2015).....	107

NOMENCLATURA

ε	Esfuerzo/Deformación.
G	Amplificación de la Señal.
GF	Factor de Galga.
Ref	Referencia a Tierra.
RG	Resistencia Nominal de la Galga Extensiométrica.
Rg	Resistencia que regula la Amplificación.
$R_{(x)}$	Resistencia.
V_{EX}	Voltaje de Excitación.
V_O	Voltaje de Salida.
V_o	Señal de Salida del Amplificador.
V_{rms}	Voltaje Eficaz.
AC	Corriente Alterna.
ADC	Convertidor Analógico-Digital.
AWG	Calibre Americano de Cableado.
BNC	Bayoneta Neill-Concelman.
CAN	Red de Área Controlada.
CH	Canal.
COM	Común.
cRIO	CompactRio.
CVO	Vehículos Comerciales.
DAQ	Adquisición de Datos.
DHCP	Protocolo Dinámico de Configuración del “Host”.

DIFF	Conexión de Tipo Diferencial.
DIP	Conexión Dual en Línea.
DR	Cambio Inducido por Tensión en la Resistencia.
EPA	Agencia de Protección Ambiental Estadunidense.
FMCSA	Administración Federal de Seguridad de Autotransportes.
FOGL	“FOrscherGruppe Luftschifftechnologie”.
FPGA	Arreglo de Compuertas Programable en Campo.
GPS	Sistemas de Posicionamiento Global.
I2C	Circuito Inter-Integrado.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IEPE	Piezoeléctrico de Electrónica Integrada.
IP	Protocolo de Internet.
ISO	Organización Internacional para la Estandarización.
LAN	Comunicación de Red Local.
LLC	Compañía de Responsabilidad Limitada.
LVDT	Transformador Diferencial de Variación Lineal.
MEMS	Microelectromecánicos.
NHTSA	Administración Nacional de Seguridad Vial.
NI	National Instruments.
OPEC	Organización de Países Exportadores de Petróleo.
PC	Computadora Personal.
PDC	Centro de Distribución de Partes.
PIIT	Parque de Investigación e Innovación Tecnológica.
PWM	Modulación por Ancho de Pulsos.
RLDA	Adquisición de Datos de Carga en Ruta.

RSE	Conexión de Tipo de Terminación Simple a Tierra.
RTD	Detector de Resistencia de Temperatura.
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices.
SHRP	Programa Estratégico de Investigación Vial.
SPI	Interfaz Serial Periférica.
STC	Auto-Compensación de Temperatura.
TCE	Entorno de Control de Prueba.
TCP	Protocolo de Control de Transmisión.
TDMS	Administración de la transmisión de Datos Técnicos.
TEDS	Hoja de Datos Electrónica del Transductor.
USB	Bus Universal en Serie.
VCC	Voltaje de Corriente Continua.
VDC	Voltaje de Corriente Directa.
VI	Instrumento Virtual.
vRLDA	Sistema Virtual de Adquisición de Datos de Carga en Ruta.
VTTI	Instituto Tecnológico de Transporte de Virginia.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la industria automotriz mexicana está sufriendo uno de los cambios más radicales que puede experimentar cualquier rubro productivo en el país. Al contribuir de manera significativa, no solo a la producción de bienes y servicios, sino también en la creación de propiedad intelectual, en innovación y en diseño de nuevos productos. Esto promueve un crecimiento constante adicionando valor tanto a las operaciones de la empresa o particular que las originan como al país en general, debido al reconocimiento global de la capacidad de innovación y competitividad de sus recursos humanos.

En la actualidad existen un sin número de estrategias, recursos y herramientas que las empresas utilizan para ser competitivas y contar con los más altos estándares de calidad y con la preferencia del cliente. La tecnología es hoy por hoy una de las armas más poderosas que se pueden implementar en las actividades cotidianas de la empresa. Ya que al ser un recurso de vanguardia brinda las herramientas necesarias para estar a la orden del día, es decir, actualizados en cuanto a las demandas y exigencias de los consumidores. Este principio aplica para cualquier compañía que se preocupe por satisfacer las necesidades de sus consumidores y en algunas ocasiones hasta excederlas.

Navistar®, a través de la manufacturera International® está invirtiendo recursos de investigación para la obtención de un equipo destinado a la recolección de datos de cargas en rutas o “RLDA”, con la intención de conocer el comportamiento de los vehículos de transporte a través de la rutas más asiduas por las que circulan dichas unidades en nuestro país. Lo anterior, con la perspectiva de desarrollo de modelos optimizados de aquellas partes o sistemas que presentan mayores reclamos de garantías.

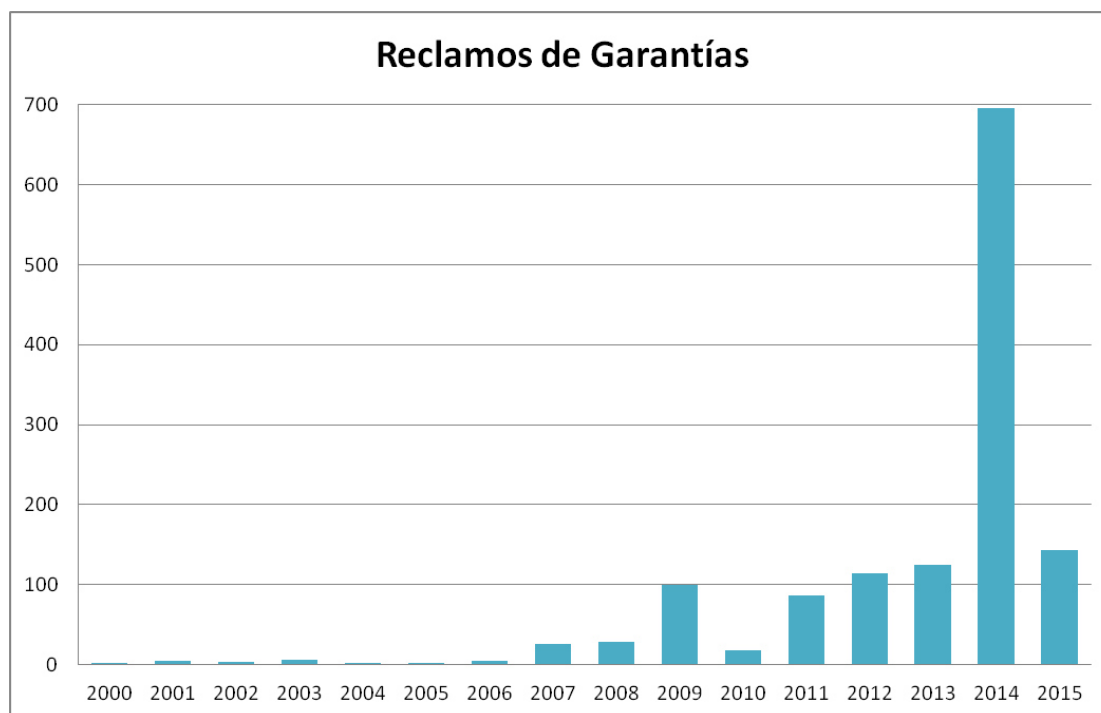
El propósito general de esta investigación es la obtención de una configuración funcional de un equipo de recolección de datos. Que sea económico en comparación con los que se ofrecen en el mercado y que permita obtener información de parámetros dinámicos a los que es sometido un vehículo durante su accionar en ruta. Tales como: velocidad, aceleración, deformación, entre otras. Que permita conocer al detalle las zonas más afectadas debido a las constantes perturbaciones de los caminos y contar con la capacidad de realizar rediseños o diseños completamente nuevos de partes que presenten fallas constantemente, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por

completo. Adicionalmente, se pretende contribuir en las etapas iniciales de investigación para la obtención de un sistema de recolección de datos integral que permita obtener información para el diseño de partes para uso específico en México.

Las razones primordiales que llevaron a la selección de este tema de investigación conciernen a la necesidad de obtener un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de unidades de transporte. Esto debido a la importancia que el tema tiene en el desempeño de las partes que conforman un vehículo.

1.1 Antecedentes del Problema.

International[®] de Navistar[®] siempre se ha distinguido por ofrecer productos de gran calidad y un excelente servicio. Pero esta calidad se ha visto amenazada en los últimos años por presentar un incremento de reclamo de garantías (Anexo II) en sus vehículos, debido a fallas estructurales concernientes a la poca adecuación de los modelos comerciales a las características de manejo del país. Esto debido a que sus diseños se realizan con base en rutas Norteamericanas. Analizando información a detalle del modelo con mayor demanda de la compañía, el tractocamión ProStar[®], se puede observar que se ha incurrido en un incremento anual promedio de 111%, haciendo énfasis en aumentos de más del 400% como lo es el caso del periodo 2013-2014. Tal como se aprecia en el siguiente gráfico:



*Figura 1.1 Reclamos de garantías anuales. *El año 2015 sólo se contabilizó hasta el mes de febrero.*

En tal sentido, la empresa se vio en la necesidad de invertir recursos de investigación para la creación de un sistema que permita conocer las características particulares de tránsito en México, como lo son las condiciones de las rutas, hábitos de manejo, condiciones del clima, etc., con el fin de asegurar la calidad de sus productos y que permitan ofrecer características de alto valor agregado para incrementar de manera significativa la competitividad de la empresa.

Actualmente, Navistar® México realiza una variedad de pruebas para validar sus diseños, desempeños y verificar que se cumple con distintas normas. Pero no se cuenta con un sistema conjunto para la medición de cargas, deformaciones, aceleraciones, velocidades y vibraciones a las que son sometidos los vehículos en condiciones de trabajo en el mundo real. De tal forma que pueda obtener información crucial que permita desarrollar nuevos productos con especificaciones adecuadas para su aplicación en un sector geográfico específico.

La empresa de manera internacional, por su filial en Estados Unidos ha realizado estudios de adquisición de datos en ruta de sus vehículos de transporte. Pero sólo se cuenta con información resultante de la caracterización

de los caminos en Estados Unidos y Brasil. Por lo que se pretende con la implementación de los resultados de este proyecto y etapas posteriores que se tenga un mayor alcance al implementarlo en México con características mejoradas basados en aplicación de distintas tecnologías. Tal como, la transmisión de datos en tiempo real, transmisión inalámbrica y uso de GPS, entre otras, así como la utilización de un sistema robusto, compacto y con características de diseño versátil para la implementación en cualquier vehículo que se desee analizar.

Este tipo de investigaciones se han desarrollado durante años, no solo por medio de la empresa Navistar[®] en Estados Unidos sino que también existen estudios realizados recientemente. Tal es el caso del trabajo llevado a cabo por Rajesh Rajamani, et al., (2013) por medio del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Minnesota. Este estudio se tituló *“Instrumentation of Navistar Truck for Data Collection”*. En éste se desarrolló un sistema de adquisición de datos robusto con un sistema de transmisión de datos de manera inalámbrica. Se recolectó datos de 20 acelerómetros, los cuales eran transferidos por medio de un sistema diferencial GPS. Las mediciones primordiales de interés en este estudio fueron las de vibración tanto en los ejes del camión como en la carrocería del mismo, para lo que solo se utilizaron acelerómetros. Este es solo un ejemplo de la gran cantidad de estudios que existen al respecto de la recolección de datos en ruta de vehículos de transporte. Más información se detallará en el apartado *1.8 Estado del arte*.

1.2 Planteamiento del Problema.

A principios del año 2014, surgió la necesidad de desarrollar un sistema conjunto que permitiera conocer el comportamiento dinámico de las unidades de transporte que circulan en México. Con la intención de realizar modificaciones o adecuaciones a los diseños de los vehículos de la marca International[®] que se comercializan en el país. Esto debido a la creciente cantidad de reclamos de garantías.

Como se ha mencionado anteriormente, Navistar[®] de México no cuenta con un equipo para la adquisición de datos en ruta de sus camiones de carga y/o vehículos de transporte de personal, por lo que por medio de esta investigación se pretende sentar las bases de desarrollo de un equipo que le permita a la empresa recolectar información, por medio de transductores, de los parámetros de dinámico de los distintos componentes bajo estudio que conforman los vehículos de interés.

1.3 Objetivos de la Investigación.

Posterior al planteamiento del problema del proyecto, es factible formular con mayor claridad los objetivos puntuales a desarrollar, tanto generales como específicos.

1.3.1 Objetivo General.

Desarrollar un sistema conjunto para recolección de datos en ruta de los vehículos de transporte de la empresa Navistar® México para su implementación en el estudio de las condiciones dinámicas implicadas. Así como también, ofrecer una alternativa viable para su aplicación en los estudios de campo con la intención de obtener información fehaciente que ayude a la empresa a conocer el comportamiento real de sus productos en funcionamiento y contar con la posibilidad de realizar cambios y/o mejoras.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- a) Desarrollar un marco teórico acerca de equipos de recolección de datos en ruta así como las técnicas utilizadas para la realización de esta tarea.
- b) Realizar una investigación para detallar los equipos de adquisición de datos que se comercializan actualmente y determinar la plataforma a utilizar en esta investigación.
- c) Definir las fases de investigación necesarias para llevar a cabo este proyecto.
- d) Determinar un modelo de vehículo de carga de la empresa adecuado para instrumentación.
- e) Determinar los sensores a utilizar.
- f) Definir accesorios, cableado, conexiones, materiales, entre otras cosas a utilizar.
- g) Realizar la configuración de software y hardware necesario.
- h) Desarrollar un sistema para la recolección de datos en ruta completamente funcional y aplicable al proyecto.
- i) Realizar trabajo de campo de validación.

1.4 Hipótesis.

La configuración y desarrollo de una plataforma de prueba preliminar para la adquisición de datos en ruta puede brindar los medios para implementar y estandarizar esta actividad de manera general.

1.5 Justificación e Importancia de la Investigación.

Actualmente, la empresa Navistar® México no cuenta con conocimiento del proceso de adquisición de datos en ruta en sus camiones, así como tampoco de las condiciones en la que estos operan. Por lo que se pretende desarrollar un equipo de recolección de datos en ruta que permita, no solo obtener información relevante de los parámetros de manejo de sus unidades sino que también permita obtener información precisa de fallas o partes que se ven comprometidas a causa de las condiciones de las rutas que existen en el país. Esto permitirá realizar las adecuaciones necesarias de diseño permitiendo una reducción en los costos por atención a solicitudes de garantías, menor tiempo en ocupación de personal para pruebas y reparaciones, así como una mejor imagen ante los clientes. Lo que guiará a la empresa en un camino hacia la optimización de procesos permitiendo así ofrecer productos de mayor calidad.

Adicionalmente, se pretende que los resultados de este estudio promuevan la extensión de este tipo de pruebas en los vehículos más importantes de la empresa, con lo cual se pueda tener un conocimiento certero de las condiciones de operación de cada uno de ellos. Y no solo ser una extensión de las investigaciones que se realizan en Estados Unidos, sino que se cree propiedad intelectual de manos mexicanas.

1.6 Alcance de la investigación.

Esta investigación está fundamentada en el desarrollo de un sistema de adquisición de datos robusto, compacto y económico que utilice tecnología de vanguardia y que esté adaptado al sector automotriz. Destinado a ser utilizado para la medición de parámetros dinámicos como lo son aceleraciones, vibraciones, deformaciones, entre otros. Por medio de transductores, en unidades International® para evaluar aquellos componentes que son más propensos a sufrir fallas y dimensionar el impacto que estos tienen en el buen funcionamiento de la unidad.

Se espera que al final de este proyecto, se cuente con informes técnicos que permitan a la empresa generalizar la implementación del trabajo de campo con sistemas para recolección de datos en los vehículos de transporte de la compañía. En paralelo, en la componente científica del proyecto se espera contar con análisis sistemático de las variables que intervienen en el proceso de recolección de datos en ruta y utilizar técnicas de optimización para ofrecer un proceso de adquisición de datos adecuado a las necesidades.

1.7 Limitaciones de la Investigación.

Las limitaciones de este trabajo de investigación son, en primera instancia, la restricción en la capacidad del equipo de instrumentación debido a que al ser equipos demasiado costosos no es posible adquirir todas las opciones que se desearía para obtener información. Además de que la cantidad y tipos de sensores a utilizar se ve limitada por la capacidad de procesamiento del equipo, por lo que se tendrá que hacer lo mejor que se pueda con los recursos que se cuentan. De la misma manera solo se implementará el uso de acelerómetros y galgas extensiométricas al ser los sensores más accesibles para el proyecto los cuales permiten dimensionar los parámetros de interés.

Tampoco se cuenta con disponibilidad completa de camiones para instrumentar por lo que solo se tomarán en cuenta aquellos que se encuentran destinados para pruebas de investigación. Más adelante se podrá observar que se realizó un estudio de factibilidad para definir cuál sería el camión más adecuado para realizar las pruebas siendo el ProStar® el mejor calificado. Pero por las mismas limitaciones que se mencionan no se cuenta con una unidad de este tipo en el centro de pruebas de la empresa por lo que se tuvo que seleccionar aquel que más se asemejara.

1.8 Estado del Arte.

Debido a la gran utilización de tecnología en este trabajo de investigación, y como se sabe que la tecnología es una herramienta que cambia constantemente a través del tiempo, se requirió de revisión bibliográfica y vigilancia tecnológica detallada para contar con los recursos más actualizados para la implementación en este proyecto. Todo lo anterior enfocado primordialmente a las tecnologías implementadas, estudiadas y comprobadas para la recolección de datos específicamente en vehículos de transporte.

En el proceso de búsqueda se consultaron fuentes de datos confiables que pudieran proporcionar información fehaciente, permitiendo así obtener un panorama más amplio de lo que es la metodología “RLDA” hoy en día. Entre las fuentes de datos revisadas destacan Science Direct, una base de datos que recopila una gran variedad de información científica de diferentes fuentes, al igual que Scopus. También se consultó información en SAE, e IEEE.

De acuerdo con la información consultada, se estructuró el estado del arte en tres apartados, según el rubro de mayor contribución de conocimientos. El primero de ellos con respecto a la instrumentación para la realización de

pruebas, el segundo con respecto a la programación aplicable, y finalmente por mayor aporte al diseño de la estructura de la prueba.

1.8.1 Instrumentación.

En el estudio *“The Tire as an Intelligent Sensor”* de Coleri, S., Sangiovanni-Vicentelli, A., Sun, X., et. al (2009) se presenta una arquitectura de sistema de adquisición de datos basado en una serie de sensores montados dentro de un neumático que forman una red de comunicación inalámbrica en coordinación con nodos montados en el cuerpo del vehículo. Para esto se requirió de la determinación de la alimentación a utilizar, la ubicación de sensores, la red de comunicación, la programación, entre otros detalles de gran relevancia para este proyecto.

El objetivo primordial fue el de determinar variables dinámicas de gran interés, como los son: fuerzas, transferencia de carga, fricción del camino, etc. para la obtención de sistemas activos de seguridad. Este artículo se consideró principalmente porque muestra una estructura para el proceso de recolección de datos en la que se puede basar el sistema a diseñar.

En la investigación *“Road load data acquisition at MAGNA STEYR: Data acquisition, validation, sensor engineering”* de Mitsch, M. (2012) la empresa Magna Steyr realiza un estudio de adquisición de datos en ruta con la intención de desarrollar y validar un modelo virtual de simulación multicuerpo del comportamiento del vehículo. Con la intención de reducir costos y tiempo de desarrollo.

En el estudio se aplica un patente para un transductor de fuerza 3D, se calcula un factor de calibración en base al diseño, y al final se obtiene una simulación con buen comportamiento de medición con señales de salida de alta calidad. Se logra el objetivo de satisfacer las necesidades en cuanto a precisión del modelo, variación de resultados y eficiencia en los costos. El estudio ayuda a comprender cómo las señales de los distintos sensores pueden crear un panorama valido del comportamiento real de un vehículo. Algo indispensable cuando se quieren diseñar nuevas partes o rediseñarlas.

El documento *“Parameterization and modelling of large off-road tyres for ride analyses: Part 1 –Obtaining parameterization data”* de Joachim, M.; Schalk, P.; Bekker, C. (2014) presenta un conjunto de datos de parametrización y pruebas de validación de neumáticos todoterreno con la intención de que puedan ser utilizados por investigadores para el desarrollo y validación de distintos modelos de neumáticos. Esto debido a que la adquisición de los datos

de prueba, con suficiente precisión, es comúnmente el mayor desafío en el proceso de parametrización. Además de que los datos publicados para neumáticos todoterreno en carretera son prácticamente inexistentes.

Se describen diferentes métodos para adquirir los datos de parametrización necesarios. Las mediciones experimentales se llevan a cabo en un neumático 16.00R20 Michelin XZL. Se realizan pruebas de laboratorio, así como pruebas de campo, de obstáculos discretos y superficies duras irregulares. En la recolección de datos se utiliza una celda de carga así como un vibrómetro láser.

El artículo “*Parameterization and modelling of large off-road tyres for ride analyses: Part 2 – Parameterization and validation of tyre models*” de Joachim, M.; Schalk, P. (2014) es la continuación del estudio anterior y es en éste donde se consolida el modelo matemático de simulación de las llantas todoterreno. Se incluyen cuatro tipos de llantas en un modelo de simulación dinámica multicuerpo. Se desarrolla un modelo de contacto de un solo punto, contacto de volumen y de contacto envolvente 3D. Además se discuten otros modelos. En este trabajo se investiga si los modelos de neumáticos existentes se pueden utilizar para describir con precisión el comportamiento vertical de grandes neumáticos fuera de carretera durante la conducción en terrenos irregulares.

Estos dos estudios sirven para comprender cómo los datos recolectados pueden ser útiles no solo para comprender el comportamiento de los sistemas bajo estudio sino también para realizar simulaciones virtuales que permitan desarrollar nuevos y mejores productos.

El objetivo principal que plantea el estudio “*Structural evaluation technique based on RWUP for scooter using RLDA*” de Tholeti, R., Kumbhar, S., Nainish, B., Govindarajan, R. (2014) es el desarrollo de un sistema que permita evaluar resultados producto de pruebas de estrés de aceleración en el chasis de una motocicleta pequeña basado en tecnología “RLDA”. El resultado de este estudio logró el objetivo de minimizar el tiempo total de pruebas al vehículo así como obtener predicciones de fatiga por medio del análisis de la sensibilidad de daño de las diferentes superficies de caminos en la India.

El trabajo incluye una técnica de recolección de datos con el uso de sensores como lo son: galgas extensiométricas, acelerómetros, potenciómetros y GPS. Algo muy parecido a lo que se pretende realizar en este trabajo de investigación con la diferencia de que se implementará en vehículos de transporte pesados.

1.8.2 Programación.

En el trabajo de investigación titulado “*A Fundamental Data Acquisition Saving Block*” de Custódio F. M. Loureiro, Victor M. G. Martins, Filomena M. C. Clemêncio, Carlos M. B. A. Correia. (2005) se presenta una arquitectura de recolección de datos general en la que se realiza una separación conceptual en bloques de las distintas etapas que representa este proceso. En esencia se plantean 4 bloques. El primero de ellos es el de adquisición de datos, el segundo el de almacenamiento de datos, posteriormente procesamiento de datos y finalmente una interface “Host”. Esta arquitectura se propone con la intención de mantener un equilibrio entre la complejidad de programación, velocidad, capacidad de almacenamiento y costos.

De manera general se propone un panorama de programación equilibrado para llevar a cabo el proceso de recolección de datos de manera optimizada. Esto brinda conocimientos de gran relevancia a la hora de realizar la configuración del software a ser utilizado en este proyecto.

De la misma manera, el documento “*Virtual Road Load Data Acquisition in Practice at General Motors*” de Schudt, J., Kodali, R., Shah, M., Babiak, G. (2011) se hace énfasis en un sistema virtual de adquisición de datos en ruta (vRLDA). En este caso, General Motors desarrolló nuevos procesos y competencias técnicas que permitieron la sustitución directa de cargas sintetizadas analíticamente. Se tratan temas relacionados con demandas técnicas de la recolección de datos en ruta, implicaciones de tiempo y una breve historia de su aplicación. Esto con la intención de demostrar que la aplicación de vRLDA es una excelente herramienta en el proceso de diseño y desarrollo de componentes, subsistemas y la realización de pruebas de durabilidad en los vehículos.

En este estudio se muestra un proceso completo de recolección de datos virtual y simulación de las cargas que afectan los distintos componentes de interés bajo estudio en los vehículos haciendo especial énfasis en la arquitectura de programación, lo cual está estrechamente relacionado con este proyecto.

El trabajo de investigación “*Data Acquisition System for Electric Vehicles Driving Motor Test Bench Based on VC++*”, de Qiang, S., Chenguang, L. (2012) presenta el diseño y aplicación de hardware y software utilizado para la recolección de datos en un banco de pruebas de un motor de vehículo eléctrico. Se utiliza para la obtención de corrientes y tensiones a través del tiempo con la intención de determinar si el motor cumple o no con los requerimientos de diseño, evaluar la calidad y obtener una ruta de mejora de la tecnología de los

vehículos eléctricos. El hardware de este sistema consiste en un banco de prueba para motores eléctricos del Instituto de Tecnología de Beijing y un módulo de adquisición de datos PXI2010 de ADLINK Company, principalmente.

El software está basado en lenguaje Visual C++ como herramienta de desarrollo. Los resultados de este estudio muestran que se puede mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de prueba del motor de forma automática y sincrónica utilizando tecnología elemental de adquisición de datos. Aunque este es un estudio realizado de manera estática ayuda a entender detalles prácticos de la obtención de información de sistemas pertenecientes a la industria automotriz.

El estudio *“Study on data acquisition for heavy off-road vehicle AT testing”* de Wang, E., Chen, H., Tao, G., Hu Y. (2012) se basa en la recolección de datos por medio de instrumentos virtuales para el análisis del comportamiento de una transmisión automática. El sistema se integró por un módulo de adquisición de datos PCI-6024E, un circuito de acondicionador de señal y una computadora. La arquitectura de adquisición de señales fue programada por medio del lenguaje gráfico Labview. La adquisición de datos se realizó en un banco de pruebas automotriz donde se utilizó una transmisión automática ZF-Ecomat 6HP500.

La información que se recolectó para el estudio fue principalmente señales de comportamiento de la válvula de solenoide, la apertura del acelerador, presión de aceite y velocidad. Este artículo proporciona un análisis de una sección o parte específica de un vehículo pesado, lo que ayuda o comprender de mejor manera aspectos importantes de estudios de adquisición de datos en este tipo de transportes, sin dejar de lado que utiliza Labview como plataforma de programación

1.8.3 Diseño de Prueba.

La investigación *“Intelligent Data Acquisition for Intelligent Transportation Research”* de Barickman, F. (1998) se llevó a cabo para hacer frente a las limitaciones de los sistemas de adquisición de datos tradicionales. La Administración Nacional de Seguridad Vial (NHTSA) desarrolló un sistema llamado Sistema de Adquisición de Datos Micro (Micro-DAS). El sistema es muy pequeño y se puede instalar en una variedad de vehículos en un breve período de tiempo. El sistema de grabación de vídeo es capaz de recoger más de 22 horas de video y adquisición de datos en movimiento y se activa basándose en eventos creados por el usuario. Con estas funciones el sistema permite obtener

información sobre el comportamiento del conductor y su desempeño, el rendimiento del vehículo, y entornos de carretera que se graban “in situ”. Esto garantiza la recolección de datos del mundo real sin preocupaciones asociadas con la familiaridad del vehículo y la presencia del investigador.

Con la revisión de este artículo se pudo obtener información relevante de las características que debe de poseer un equipo de adquisición de datos portable y para uso en una diversidad de vehículos.

El artículo *“Instrumentation of remote controlled airship “Lotte” for in-flight measurements”*, de Kungl, P., Schlenker, M., Wimmer, D., Helmut, B. (2004) describe el proceso de instrumentación de una aeronave de control remoto para la medición de parámetros de vuelo. Se realiza esta prueba a cargo del programa de investigación FOGL. Se utiliza un dirigible con mando a distancia como plataforma experimental, con el objeto de conseguir información que permita entender de manera más detallada las tecnologías aéreas ligeras. Lo anterior, se realiza por medio de la validación de los resultados de los modelos teóricos, desarrollado dentro del programa de investigación para el modelado de los dirigibles aerodinámicos y las características de vuelo de la configuración de la aeronave instrumentada.

Se muestran pruebas extensas en tierra, seguidas de la preparación de la aeronave para las pruebas de vuelo acompañado por la organización de la operación de vuelo. La operación de vuelo precedido de diversos procedimientos de verificación. El procedimiento primordial para la recolección de datos fue por medio de la red CAN, por lo que fue de mucha ayuda para comprender la complejidad de este tipo de conexión y evaluar la posibilidad de la aplicación en el sistema de recolección de datos que se plantea en este estudio.

En el artículo *“A Transportable Instrumentation Package for In-Vehicle On-Road Data Collection for Driver Research”* de Murphey, Y., Kochhar, D., Chen, F., Huang, Y. et al. (2013) se presenta una investigación en proceso para el desarrollo e implementación de un equipo de instrumentación portable para recolectar información de manejo del conductor. El objetivo primordial del proyecto es investigar la relación simbiótica entre los humanos y los vehículos. Se describen las tecnologías utilizadas en el equipo, criterios para fácil instalación en el vehículo, mínima interferencia con el conductor, y la señal suficiente para monitorear el estado y condición del conductor.

Este sistema de recolección de datos se plantea como una alternativa viable a la práctica común, que consiste en utilizar un vehículo de prueba

totalmente instrumentado, a menudo con un gran costo. El cual se utilizan para recopilar datos de cada participante para saber cómo él/ella conduce un itinerario determinado. Otra práctica que actualmente se utiliza es el estudio de conducción natural SHRP-2. Esto consiste en instalación de la instrumentación apropiada para la recolección de datos en el vehículo de cada individuo, requiriendo a menudo varias horas. El equipo que se expone en este trabajo está diseñado para que su instalación en el vehículo tome alrededor de 30 minutos y es portátil de vehículo a vehículo.

Este artículo ilustra metodología interesante y de gran valor para el proyecto acerca del diseño de un equipo de recolección de datos completamente portable y de fácil instalación.

En el trabajo *“Road load data application in solving a crack problem of the A/C pipe fixed on the vehicle engine”* de Wang, Z.; Xu, Y. , Fan, K., and Da, B. (2014) se llevó a cabo un proceso de adquisición de datos para determinar las causas del fallo estructural de un ducto de aire acondicionado dentro del compartimiento del motor. Esto con la intención de ofrecer alternativas de mejora en el diseño con características optimizadas. La recolección de datos en ruta incluyó señales como aceleración, velocidad del motor, medición de fracturas, entre otras variables. Éstas fueron analizadas en términos de frecuencia y tiempo.

Como conclusión de este estudio se encontró que la causa raíz de la fractura del ducto no era consecuencia de las perturbaciones del camino sino más bien de vibraciones ocasionadas por el funcionamiento del motor. Aquí se muestra un estudio completo de causa-efecto de una falla estructural en un vehículo, lo que se relaciona ampliamente con el objetivo que se desea alcanzar con el desarrollo del sistema de adquisición de datos que se especifica en este documento.

Los datos que se ilustran en este apartado son solo una muestra de toda la información del estado del arte que se consultó con la intención de tener un conocimiento más completo de todo lo que implica el desarrollo e implementación de un sistema de adquisición de datos. Por cuestiones de practicidad solo se ilustran algunos ejemplos.

Adicionalmente a la revisión de artículos científicos para el conocimiento del estado del arte de los sistemas de recolección de datos que se utilizan en la actualidad se tuvo la oportunidad de presenciar pruebas en campo realizadas por personal de Navistar®. Lo cual proporcionó herramientas e información de

gran relevancia para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo de investigación. Estas pruebas se detallan, de manera general, en Anexo V.

Por medio de la realización de estas pruebas se obtuvo un panorama más claro de lo que implica la realización de pruebas en campo para la adquisición de datos en un vehículo de transporte, los cuidados al instrumentar y los tiempos requeridos, así como todo el equipamiento necesario.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe la información referente a las bases teóricas y técnicas utilizadas en el desarrollo de este proyecto de investigación. Se abordan temas de gran relevancia como lo son tipos de sensores utilizados, consideraciones para su elección, técnicas de recolección de datos, así como interpretación de resultados, entre otras cosas.

2.1 Fundamentos Teóricos.

En este apartado se describen características primordiales que se persiguen con la realización de este proyecto, así como algunos conceptos de relevancia especial para el desarrollo del mismo, como lo son la ingeniería e innovación.

Navistar® es una empresa dedicada a entregar consistentemente productos confiables y duraderos con un valor agregado durante todo su ciclo de vida útil y ser distinguidos por la superioridad de su calidad. Tales productos y servicios representan una ventaja competitiva para la compañía, los cuales requieren de características básicas como durabilidad, eficiencia y seguridad.

2.1.1 Durabilidad: Con la realización de este trabajo de investigación se pretende sentar la bases para que la empresa sea capaz de realizar estudios, basados en recolección de datos, que permitan conocer a detalles aspectos esenciales de sus vehículos, entre los que destacan la durabilidad. Para esto se requiere de la adquisición de datos de comportamiento de las unidades para realizar análisis de fatiga de los distintos materiales con la intención de mejorar su funcionamiento.

2.1.2 Eficiencia: Merriam–Webster Inc. (2014) define eficiencia como *“la capacidad para seleccionar y usar los medios más efectivos y de menor desperdicio con el fin de llevar a cabo una tarea o lograr un propósito”*. Con base en los resultados obtenidos de la implementación del sistema de adquisición de datos se pretende ofrecer los medios para incrementar la eficiencia de las unidades de transporte estudiadas. Esto por medio del mejoramiento de las distintas partes que integran los sistemas de mayor relevancia de los vehículos.

2.1.3 Seguridad: La seguridad es un factor primordial que toda empresa debe de tener en cuenta. Con la obtención de información cuantitativa de los parámetros que definen el comportamiento de las partes que integran los vehículos de transporte de Navistar® se puede erradicar por medio del rediseño el riesgo de falla en funcionamiento de partes específicas que significan hitos de seguridad importantes.

Estas características básicas, deben de ser aplicadas de manera conjunta, potencializándose una con otra, con el objetivo de brindar productos y servicios de la más alta calidad que cumplan con las necesidades primordiales de los clientes.



Figura 2.1 Integración de características primordiales.

Tal como se menciona al principio de este capítulo se incluyen conceptos intrínsecos del proyecto que es remarcable mencionar como punto de referencia e implementación de las técnicas y metodologías tecnológicas a utilizar.

2.1.4 Ingeniería: Según el Consejo de Acreditación para la Ingeniería y la Tecnología (2014) ingeniería se define como: *“La profesión en la que el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales adquirido mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica con buen juicio a fin de desarrollar las formas en que se pueden utilizar de manera económica, los materiales y las fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad”*. Crear un ambiente de

desarrollo científico es una de las características que se deben de tomar en cuenta para la implementación de este proyecto. El efecto de la ingeniería en la adquisición de datos es muy importante y es lo que impactará en la mejora de procesos, para tener una transición de las pruebas tradicionales a procesos de prueba basados en aplicación de tecnologías innovadoras.

2.1.5 Innovación: Tal como lo redacta la Dra. Escobar (2000) en su artículo editorial titulado Innovación Tecnológica *“La innovación se define como la transformación de una idea en un producto o equipo vendible, nuevo o mejorado; en un proceso operativo en la industria o el comercio, o en una nueva metodología para la organización social”*. Es por esto que se pretende por una parte, establecer sistemas de pruebas y adquisición de datos innovadores que puedan ser aplicados a los distintos modelos de vehículos de interés. Además de proponer alternativas analíticas de vanguardia que permitan mejorar el desempeño de las unidades de transporte. En otras palabras, se pretende asegurar la calidad del producto mediante la utilización de tecnología aplicada.

2.2 Fundamentos Técnicos.

En este apartado se describen los fundamentos técnicos de los elementos necesarios para la recolección de datos, en donde se explican los tipos de sensores y componentes a utilizar, entre otras cosas.

En primera instancia, es importante describir de manera general, en qué consiste el proceso de adquisición de datos. La adquisición de datos se integra esencialmente por tres etapas. La primera de ella es la obtención de información de un fenómeno físico dimensionable por medio de sensores. Esto incluye información como velocidades, temperaturas, aceleraciones, presión, deformación y otras magnitudes físicas de valor analógico. También se pueden incluir señales digitales como pulsadores o interruptores.

La segunda etapa es el procesamiento de la información recolectada por medio de un sistema de adquisición de datos que se encarga de transformar dicha información en datos que puedan ser interpretados por una computadora. Es aquí donde se acondiciona y se digitaliza la señal para convertirla en datos binarios.

Según National Instruments (2015) *“El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ*

usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC.”

El acondicionamiento de señal es el proceso de adecuación de la señal recolectada por los sensores. La señal debe de ser acondicionada debido a que pueden ser ruidosas o demasiado peligrosas para ser medidas directamente. El circuito que se encarga de realizar dicha función convierte la señal de tal manera que pueda ser apropiado para la entrada a un ADC. Este circuito puede integrar acciones de amplificación, filtrado, atenuación y aislamiento, entre otras. A continuación se muestran ejemplos de acondicionamiento de señal.

Sensor	Características Eléctricas	Requerimientos de Acondicionamiento de Señales
<i>Termopar</i>	Salida de bajo voltaje Baja sensibilidad Salida no lineal	Sensor de temperatura de referencia (para compensación de unión fría) Alta amplificación Linealización
<i>RTD</i>	Baja resistencia (típicamente 100 ohms) Baja sensibilidad Salida no lineal	Excitación de corriente Configuración de 3 o 4 cables Linealización
<i>Galga extensiométrica</i>	Baja resistencia Baja sensibilidad Salida no lineal	Excitación de voltaje o corriente Alta amplificación Configuración de puente Linealización Calibración
<i>Termistor</i>	Dispositivo resistivo Alta resistencia y sensibilidad Salida no lineal	Excitación de voltaje o corriente con resistencia de referencia Linealización
<i>Acelerómetros activos</i>	Alto nivel de salida de voltaje o corriente Salida lineal	Alimentación de energía Amplificación moderada
<i>LVDTs</i>	Salida de voltaje de AC	Excitación de AC Desmodulación Linealización

Tabla 2.1 Características eléctricas y requerimientos básicos de acondicionamiento de señales para los transductores más comunes (National Instruments, 2015).

Por su parte el ADC se encarga, tal como su nombre lo indica, de convertir las señales analógicas a digitales antes de ser procesadas por la

computadora. En la práctica, la señal analógica recolectada varía continuamente a través del tiempo por lo que el convertidor analógico digital realiza mediciones periódicas de la señal a una tasa de muestreo predefinido con lo cual se obtiene una representación de la señal digital en un instante de tiempo. Estas señales son enviadas a la computadora del usuario a través de un bus de comunicación.

El bus sirve como interfaz de comunicación entre el equipo de adquisición de datos y la computadora para transferir instrucciones e información de las variables dimensionadas. Algunos bus de comunicación comúnmente conocidos son el USB, PCI, PCI Express y Ethernet. Actualmente, se cuenta también con la opción de transmisión de datos por medio de comunicación inalámbrica. Existen una gran cantidad de buses disponibles en el mercado y cada uno de ellos ofrece diferentes ventajas para cada tipo de aplicación requerida.

La tercera y última etapa consiste en interpretar los resultados obtenidos con la intención de utilizarlos de manera adecuada en el proceso de análisis. Aquí se visualiza, analizan y almacenan los datos en la computadora. El proceso completo se ilustra en la siguiente imagen.

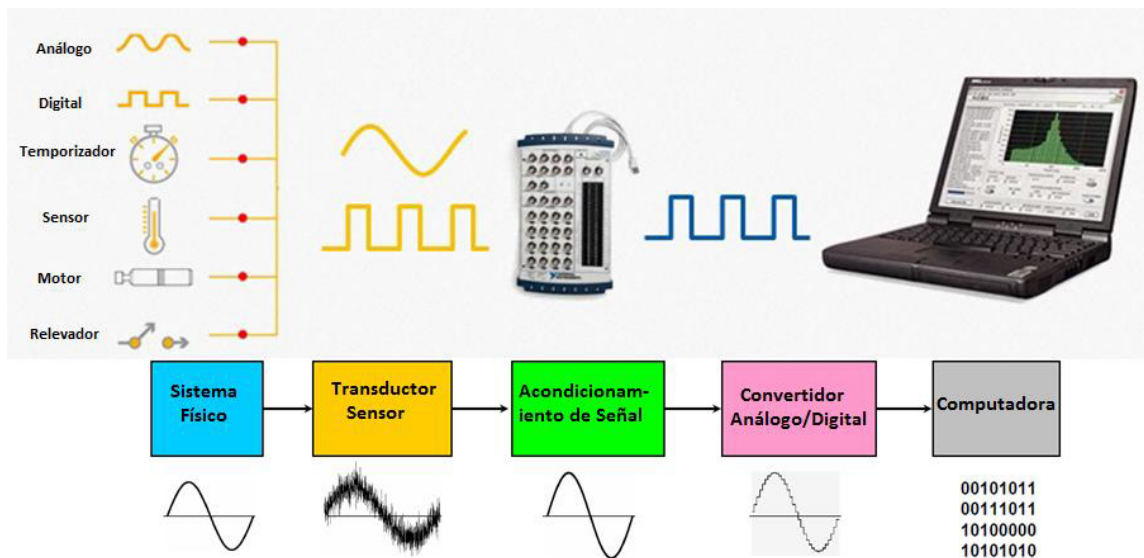


Figura 2.2 Sistema de adquisición de datos. Adaptado National Instruments, 2015.

Algunos de los sensores claves para la obtención de información en el proceso “RLDA” son los acelerómetros, sensores de presión, sensores de fuerza, sensores de tensión, celdas de carga y galgas extensiométricas. Cada

uno de estos componentes forma parte integral del proceso de adquisición de datos, ya que permiten obtener, por medio de señales eléctricas, la información que indica el comportamiento real de los vehículos bajo estudio. A continuación se describen cada uno de los sensores mencionados.

2.2.1 Acelerómetro: Sensor o dispositivo electromecánico destinado a medir cualquier tipo de aceleración, ya sea dinámica o estática. Las fuerzas estáticas son principalmente la fuerza gravitacional, mientras que las fuerzas dinámicas pueden incluir vibraciones y movimiento. Los acelerómetros tienen la capacidad de medir los cambios de velocidad en uno, dos y tres ejes.

Los acelerómetros son ampliamente utilizados en la industria automotriz. Tal es el caso de su implementación en la apertura o accionamiento de las bolsas de aire, solo por mencionar un ejemplo. Han (1998) *“En esta aplicación, el sensor es usado para determinar exactamente cuándo se debe de activar la bolsa de aire para prevenir daño al conductor o al pasajero. Cuando un impacto ocurre, éste resulta en la desaceleración del vehículo, lo cual es sensado por el acelerómetro en forma de cambio de voltaje. Esta fluctuación es monitoreada por la computadora del vehículo, la cual envía una señal para activar la bolsa de aire”*.

2.2.2 Galgas Extensiométricas: Es un sensor en forma de lámina muy delgada, que se utiliza para medir la deformación, presión, carga, torque, posición, entre otras cosas; que está basado en el efecto piezorresistivo. Esta es la propiedad que tienen algunos materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se le someten a ciertos esfuerzos y se deforman en dirección de los ejes mecánicos. Un esfuerzo que deforma a la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica, esta variación puede ser por el cambio de longitud, el cambio originado en la sección o el cambio generado en la resistividad. Las galgas extensiométricas es muy utilizada en la realización de pruebas en el sector automotriz para conocer desde el comportamiento de partes estructurales del vehículo cuando se somete a ciertas cargas hasta para determinar el torque de un motor, entre otras cosas.

2.2.3 Termopar: Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña, que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado “punto caliente” y el otro llamado “punto frío”. Este tipo de sensor es usado en la industria automotriz, principalmente, para medir la temperatura de distintos componentes del vehículo y la del medio ambiente. Uno de los usos poco conocidos de este sensor es el de medir la temperatura de los discos de freno de los vehículos. Esto con la intención de tener un control preciso del

calentamiento de los mismos y prevenir posibles fallas que podrían ser de alto riesgo al ser un sistema de seguridad primordial de cualquier vehículo.

2.2.4 Celda de carga: Es un transductor que se utiliza para transformar una fuerza o carga en una señal eléctrica. Su funcionamiento se basa en la utilización de una galga extensiométrica que al aplicar una carga se deforma produciendo una señal eléctrica con la cual se obtiene un valor de fuerza. Hoy en día este tipo de sensores se utilizan de manera cotidiana desde una báscula para pesar alimentos, hasta para la medición del peso de una persona o de un vehículo de carga. Los tipos de celdas básicos que más se utilizan son las celdas de carga de un solo punto, la celda de carga de botón y la celda de carga tipo s.

2.2.5 Sensor de fuerzas en rueda: Es un transductor robusto de una pieza que se monta en la parte exterior del rin del vehículo y se utiliza básicamente para medir las fuerzas, momentos y torques que se presentan en la rueda del vehículo de manera operacional. Este sensor, generalmente se utiliza en la adquisición de datos de transportes comerciales, camiones, autobuses, y unidades militares. Según la empresa PCB Piezotronics (2015) *“Estos sensores son ideales también para la calibración y ajuste de maquinas de pruebas de neumáticos biaxial; para el desarrollo de programación de vehículo completo y módulos de prueba de más de seis grados de libertad; y el desarrollo de productos de control de estabilidad, sistema de frenos, suspensión y neumáticos”*. La funcionalidad de este transductor se basa en la utilización de un sistema modular de 6 celdas de cargas de 3 ejes, cada una permite conocer de manera precisa las fuerzas que afectan el funcionamiento de la rueda o neumático.

A continuación se describen detalladamente los sensores a utilizar en el proceso de recolección de datos en este proyecto, ya que existen muchos conceptos básicos que tienen que ser considerados para la selección y correcta aplicación de los mismos. Se mencionan también los aspectos claves de los acelerómetros y galgas extensiométricas.

2.3 Acelerómetros.

Los acelerómetros son dispositivos electromecánicos destinados, como su nombre lo indica, a la medición de fuerzas de aceleración; la cual se define como la tasa de cambio de velocidad de un objeto a través del tiempo. Esta se mide en metros por segundo al cuadrado (m/s^2) o en fuerzas G o gravedad (g). Una unidad de fuerza G, en nuestro planeta es igual a $9.81 m/s^2$ por lo que

estas unidades de medida son equivalentes. Adicionalmente, los acelerómetros son utilizados para dimensionar las vibraciones en los sistemas o para aplicaciones de orientación. Estos sensores son capaces de realizar mediciones en uno, dos o tres ejes, los cuales se conocen como uniaxiales, biaxiales y triaxiales, respectivamente.

2.3.1 Clasificación de Acelerómetros.

La clasificación general de los tipos de acelerómetros que se utilizan en la actualidad son los siguientes:

- Microelectromecánicos (MEMS).
- Piezoeléctricos.
- Piezoresistivos.
- Circuitos Integrados.

Microelectromecánicos (MEMS).

Los acelerómetros más utilizados se conocen como MEMS, los cuales están integrados por placas capacitivas. Algunos de estos son fijos, mientras que otros están unidos a resortes nanométricos que se mueven internamente a causa de las fuerzas de aceleración que actúan sobre ellos. El movimiento de estas placas en relación de una con la otra provoca que la capacitancia entre ellas cambie, lo que hace que el circuito envíe una tensión de salida con la que se puede dimensionar la aceleración. Generalmente, este tipo de acelerómetros son de forma cuadrada y plana.

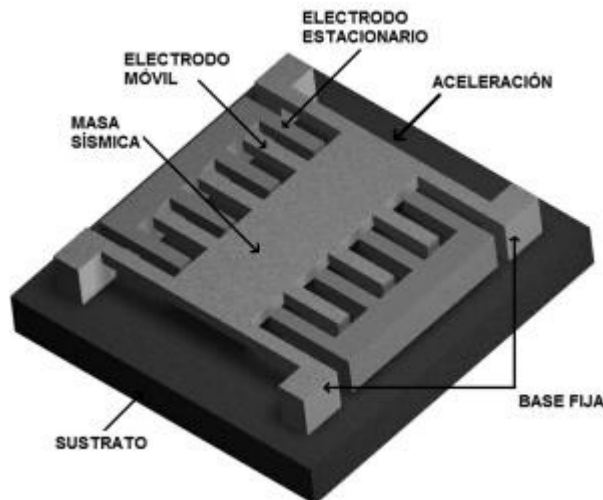


Figura 2.3 Sistema microelectromecánico para aceleración en un eje (Herrera et al., 2008).

Piezoeléctricos.

Otro tipo de acelerómetro que se utiliza es el que se conoce como piezoeléctrico. Según Herrera, Cortez y Aguilera (2008) *“Esta clase de sensores detectan la aceleración en base a la carga eléctrica generada en un material piezoeléctrico al ser sometida a un esfuerzo mecánico”*.

Los elementos piezoeléctricos están integrados por una masa sujeta a un extremo por un muelle, la cual comprime el material piezoeléctrico, comúnmente circonato de plomo, todo el conjunto dentro de una caja metálica. Cuando el sistema es sometido a una fuerza el disco piezoeléctrico cambia su potencial variable, proporcional a la aceleración de la masa. La forma de este tipo de acelerómetro es cilíndrica por sus condiciones de operación.

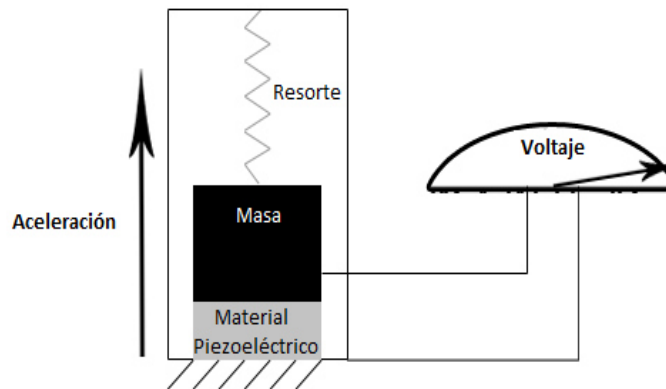


Figura 2.4 Sistema piezoeléctrico. Adaptado de ABC del acelerómetro.

Piezoresistivos.

Adicional a los acelerómetros anteriores se encuentran los piezoresistivos, que a diferencia de los piezoeléctricos estos basan su funcionamiento en la propiedad que tienen las resistencias eléctricas de cambiar de valor cuando el material se deforma mecánicamente. Estos acelerómetros emplean una masa suspendida mediante un elemento elástico conectado a cuatro galgas extensiométricas. La masa al ser afectada por la aceleración perpendicularmente a la superficie deforma las galgas y cambia así la resistencia en ellas de forma proporcional al cambio de velocidad respecto al tiempo. Este tipo de acelerómetros a diferencia de los piezoeléctricos solo causa un cambio de resistencia y no produce potencial eléctrico. Una de las mayores ventajas de este tipo de acelerómetros es que permite medir aceleraciones a muy bajas frecuencias de hasta 0 Hz.

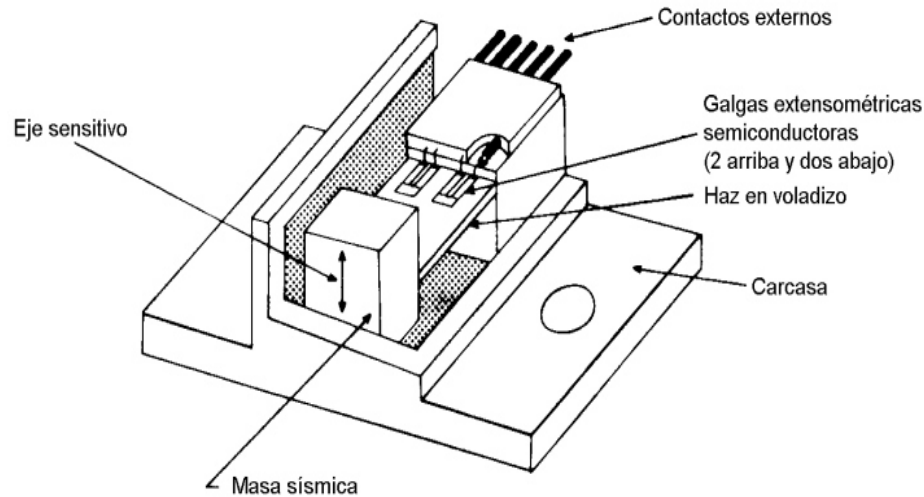


Figura 2.5 Sistema piezoresistivo (Cidaut, 2012).

Circuitos Integrados.

Existen otros tipos de acelerómetros que se utilizan con menor frecuencia debido a su aplicación específica y desventajas claras respecto a los otros tipos de acelerómetros. Estos son los que se conocen como de circuitos integrados. Según Santalucía y Gargiulo (2006) en su artículo Transductor de Aceleración para la Detección de Sismos Fuertes menciona “Aproximadamente en el año 1997 la empresa Analog Devices lanzó al mercado los primeros acelerómetros micromaquinados en silicio completamente integrados, cuyo principio de funcionamiento es un capacitor diferencial y que permite medir aceleraciones estáticas ($f_{min} = 0 \text{ Hz}$)”.

La mayoría de acelerómetros de este tipo utilizan una transducción capacitiva por lo que son llamados microacelerómetros capacitivos. Existen dos métodos básicos para la manufactura de este tipo de acelerómetros. Uno es el micromaquinado de superficie, en el cual el sensor se fabrica directamente sobre el sustrato y el otro método es el de micromaquinado de volumen en el que se graba la estructura en el volumen del sustrato de silicio. Aunque la tecnología de micromaquinado de superficie es compatible con la de los circuitos integrados (bajo costo y tamaño pequeño), tienen el inconveniente de producir niveles muy altos de ruido debido a su pequeña masa sísmica, tienen poca estabilidad y falta de flexibilidad. Por otro lado, el micromaquinado de volumen proporciona un nivel bajo de ruido, buena estabilidad y flexibilidad, pero sus desventajas son su costo más alto, mayor tamaño y procesos de fabricación más complejos.

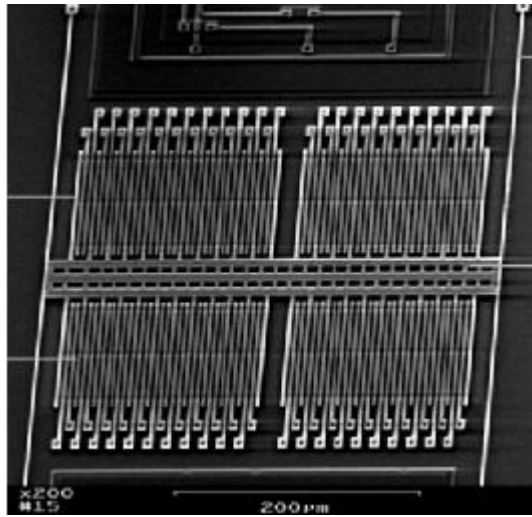


Figura 2.6 Sistema de microacelerómetro capacitivo (Herrera et al., 2008).

En la mayoría de los acelerómetros las conexiones básicas de operación que se requieren son: el poder o la entrada de corriente de alimentación, conexión a tierra o masa y la línea de voltaje de comunicación de la medición sensada. A pesar de esto, cada fabricante puede diseñar su propio circuito de conexión por lo que es de gran importancia conocer al detalle la información técnica de cada que sensor que se vaya a utilizar.

Hablando de la interfaz de comunicación que se maneja para los distintos tipos de acelerómetros, estos transfieren información a través de un convertidor analógico, digital o interfaz PWM. Esta última es una técnica que se utiliza para modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica, senoidal o cuadrada, y se utiliza para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Este tipo de señales son muy utilizadas en circuitos digitales que necesitan emular una señal análoga.

Los acelerómetros con una interfaz análoga entregan un voltaje proporcional a la aceleración en cada uno de sus ejes, en caso de que sean biaxiales o triaxiales, que normalmente fluctúan entre tierra y el valor de la alimentación VCC. Los acelerómetros con interfaz digital pueden transferir información a través de los protocolos de comunicación SPI o I2C. Estos tienden a tener mayor funcionalidad y a ser menos susceptibles al ruido que aquellos acelerómetros análogos. Los acelerómetros con salida modulada en ancho de pulso presentan señales de onda cuadrada con un periodo conocido, pero el ciclo de trabajo, el cual se obtiene al cambiar el ancho de banda relativo respecto al periodo de la señal, varía con los cambios en la aceleración.

Los acelerómetros son generalmente dispositivos de baja potencia. La corriente requerida está comúnmente en el rango de los micro o mili amperios, con una tensión de alimentación de 5 V para la mayoría de los casos. El consumo de corriente puede variar dependiendo de la configuración, es decir, si se configura en el modo de ahorro de energía o en el modo de funcionamiento estándar. Estas modalidades pueden hacer a los acelerómetros adecuados para aplicaciones que funcionan con alimentación de batería.

2.3.2 Consideraciones para la Elección de un Acelerómetro.

Al seleccionar un acelerómetro se deben de tomar en cuenta varios aspectos esenciales. Entre los que destacan el nivel de alimentación y el tipo de comunicación del que ya se habló anteriormente, así como el rango de medición y la sensibilidad del mismo.

El nivel de alimentación está directamente relacionado con el módulo de adquisición de datos que se vaya a utilizar, ya que se tiene que asegurar que los niveles lógicos tanto del acelerómetro como del microcontrolador correspondan, ya que si esto no es así se puede dañar el sensor. Lo anterior cuando se alimenta el sensor por medio del módulo de adquisición. Cuando el sensor requiere de alimentación externa es pertinente revisar los niveles de corriente que acepta el sensor para evitar sobrepasarlos y generar posibles daños.

En cuanto a la interfaz, los acelerómetros utilizan una de tipo analógica, digital o PWM. Los acelerómetros con una salida analógica producen una tensión de salida que es directamente proporcional a la aceleración detectada. En 0 g, por ejemplo, la señal analógica será alrededor de la mitad de la tensión de alimentación (para un sensor de 3.3 V será de 1.65 V, aproximadamente). En general esta interfaz es la más sencilla de utilizar, usando solo un convertidor analógico a digital presente en la mayoría de los microcontroladores. Los acelerómetros con tipo de alimentación PWM producen una onda cuadrada con una frecuencia fija y el ciclo de trabajo del pulso varía con la aceleración detectada. Los acelerómetros digitales generalmente cuentan con interfaz serial SPI o I2C los cuales son más difíciles de integrar a un microcontrolador que los de señal analógica y son utilizados cuando se busca tener señales con menos perturbaciones debido al ruido.

Otros de los aspectos de gran relevancia a tomar en cuenta al elegir un acelerómetro son el rango y la sensibilidad. El rango de medición de los acelerómetros es la capacidad en G's que puede medir. Por ejemplo un

acelerómetro de rango 100 es capaz de medir aceleraciones ± 100 g. En la mayoría de los casos, un rango menor a gran escala significa una salida más sensible, es decir, se puede obtener una lectura más precisa de un acelerómetro con rango de medición de baja escala. Se debe de seleccionar el rango de detección que mejor se adapte al proyecto.

2.3.3 Interpretación de la Información Recolectada con un Acelerómetro.

Es importante entender de manera adecuada la información que se adquiere con un acelerómetro ya que de esto depende la buena comprensión de los parámetros dimensionados.

La información que recolecta un acelerómetro es esencialmente voltaje, mismo que es enviado al módulo de adquisición de datos y que en el peor de los casos se muestra como tal. Algunas integraciones de software y hardware cuenta con la capacidad de convertir la información en unidades de G's o en la que se requiera. En caso de no ser así, es necesario convertir el voltaje que arroja el sensor a aceleración. Esto es relativamente fácil, debido a que solo es necesario revisar la sensibilidad del sensor, que generalmente es expresado en mV/g, y hacer una operación matemática sencilla. Por ejemplo para el acelerómetro de la marca Silicon Designs, serie 2220-50. Este posee una sensibilidad de 80 mV/g y tiene una capacidad de medición de ± 50 g, esto es que por cada cambio de velocidad a través del tiempo igual a 1 g el cambio de voltaje será de 80 mV.

2.4 Galgas Extensiométricas.

La galga extensiométrica, también conocida como extensómetro o “strain gage” (su traducción en inglés), es un sensor de medida universal que se utiliza para realizar mediciones electrónicas de diversas magnitudes mecánicas como lo son deformación, carga, presión, torque, entre otras. El parámetro que determina la medición de este sensor es el esfuerzo a la cantidad de deformación de un cuerpo debido a una fuerza aplicada sobre él.

En términos matemáticos, esfuerzo (ϵ) se define como el diferencial de cambio de longitud dividido entre la longitud inicial de la pieza como se muestra a continuación:

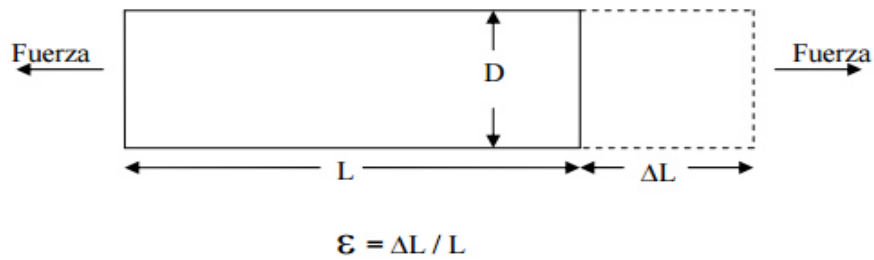


Figura 2.7 Esfuerzo deformación (Sosa, s.f.).

Los parámetros de medición de una galga extensiométrica pueden ser tanto positivo (tensión) como negativo (compresión). Si bien es adimensional, en algunas ocasiones suele expresarse en medidas de mm/mm. En la práctica, la magnitud de medida de la deformación es muy pequeña por lo que se suele expresar en “microstrain” ($\mu\epsilon$), que es $\epsilon \times 10^{-6}$.

La utilización de galgas extensiométricas es uno de los métodos más utilizados para la medición de esfuerzos. Esto debido a que proporciona una resistencia eléctrica variable en relación proporcional al esfuerzo al que se somete la pieza que se está instrumentando. La galga más ampliamente utilizada es la impresa en papel metálico o “bonded metallic strain gage”. La galga metálica consiste en un cable muy fino o papel aluminio dispuesto en forma de rejilla la cual maximiza la cantidad de metal sujeto al esfuerzo en la dirección paralela.

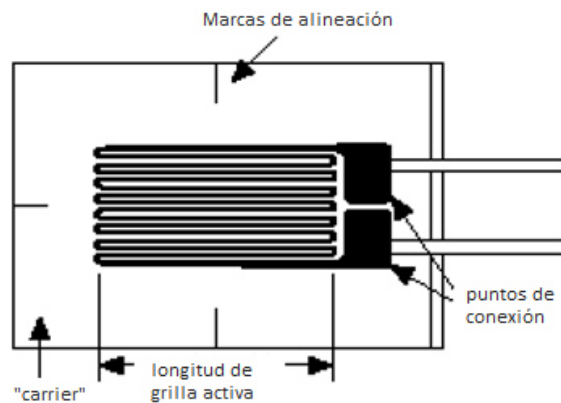


Figura 2.8 Galga extensiométrica metálica. Adaptado de Sosa, s.f.

Como se puede observar en la imagen anterior, la rejilla se encuentra unida a una base muy fina llamada “carrier” la cual se sujeta directamente a la pieza que se desea medir. Por este medio el esfuerzo experimentado por la

pieza al ser aplicada una fuerza es transferido directamente al sensor extensiométrico, el cual responde con cambios lineales de resistencia eléctrica de salida. La mayoría de las galgas extensiométricas que se comercializan se encuentran en rangos de 120, 350 y 1000 Ω aunque pueden ser encontradas en valores nominales de 30 hasta 5000 Ω .

2.4.1 Clasificación de Galgas

La clasificación de los distintos tipos de galgas que se utilizan con mayor frecuencia en la actualidad se resume en el siguiente gráfico:

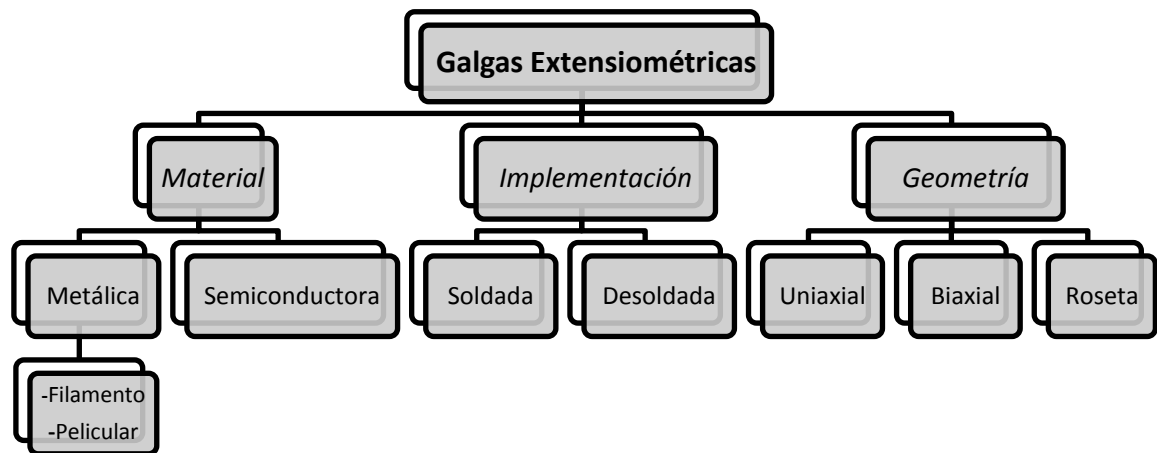


Figura 2.9 Clasificación de galgas extensiométricas.

Según el Tipo de Material

Galga Metálica.

Este tipo de galgas extensiométrica está constituida por un hilo metálico muy fino el cual se adhiere a una base delgada y fina, de ahí su nombre. Este elemento metálico puede tener forma de un filamento o de tramo pelicular. Las principales características de las galgas metálicas son un tamaño que varía entre 0.4 mm y 150 mm, tienen una tolerancia a la resistencia dentro del rango de 0.1 a 0.2% y una resistencia variable entre 120 y 5000 Ω .

Galgas Metálicas de Filamento (“Wire Strain Gage”).

En este caso en particular el elemento sensible que se utiliza para realizar las mediciones es un hilo metálico conductor con una sección circular

de 0.025 mm de diámetro, aproximadamente. El cual se encuentra pegado sobre una base aislante de resina epóxica o poliéster. El hilo conductor presenta varios pliegues siguiendo la disposición estándar que se muestra en la siguiente figura:

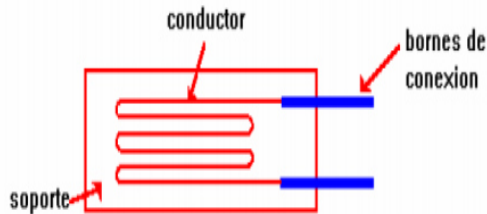


Figura 2.10 Galga metálica de filamento (Idrovo & Quintanilla, 2010).

Galgas Metálicas de Trama Pelicular (“Foil Strain Gage”).

La característica de este tipo de galga es que el elemento sensible que utiliza para sensar es una película de metal de pocas micras de espesor, recortada mediante ataque fotoquímico o fotograbado, similar a la que se utiliza en los circuitos impresos que tienen bases flexibles. La longitud activa de medición está claramente delimitada por los pliegues de la película sensible y las pistas de conexión donde se sujetan las terminales. Estos bordes son prácticamente insensibles debido a su anchura.

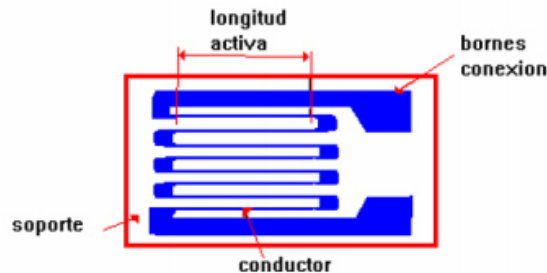


Figura 2.11 Galga metálica de película (Idrovo & Quintanilla, 2010).

Galga Semiconductora.

Las galgas semiconductoras son similares a las galgas metálicas en cuanto a la constitución, a diferencia de que en las primeras se sustituye el hilo metálico por un material semiconductor. Además poseen un menor tamaño en relación a otras galgas. Los materiales más comunes para su fabricación son el Silicio y el Germanio, la cuales pueden ser de tipo N o P. Las galgas de tipo P aumentan su resistencia al esfuerzo aplicado mientras que las galgas de tipo N

la disminuyen. En ambos casos existe el interés común de utilizar materiales que presenten bajo coeficiente térmico con la intención de que una temperatura elevada no afecte las mediciones realizadas. Algunas características primordiales de este tipo de galgas bajo condiciones normales son que su tamaño varía entre 1 y 5 mm, su tolerancia a la resistencia es de 1 a 2% y su resistencia está aproximadamente en el rango de los 1000 a 5000 Ω . Este tipo de galgas son poco utilizadas debido a su costo excesivo generado por el método de fabricación que es empleado.

Según su Forma de Implementación.

Galgas Soldadas.

Las galgas soldadas son las que se utilizan con más frecuencia. Estas están fabricadas con un hilo metálico o semiconductor que se encuentra encapsulado en una fina lámina de material aislante, mediante el cual se adhieren por medio de un pegamento especial al elemento que se desea medir. La deformación de la galga es igual a la del material de soporte.

Galgas Desoldadas.

Son conductores metálicos que deben de ser colocados sobre un soporte o marco estacionario. Tienen que ser colocadas o configuradas en una posición de equilibrio en tracción (pretensión) de forma que las variaciones de longitud debido a las fuerzas ejercidas puedan mantener el hilo en tensión. La resistencia de equilibrio corresponde entonces a la resistencia de pretensado, los filamentos son de igual longitud y tienen un arreglo como se muestra en la figura.

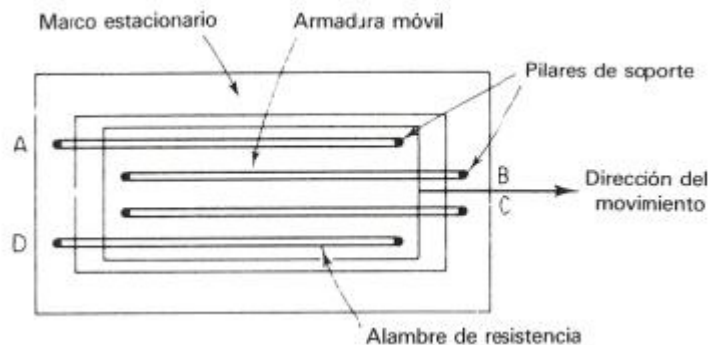


Figura 2.12 Galga desoldada (Idrovo & Quintanilla, 2010).

Idrovo & Quintanilla (2010) explican el funcionamiento de la siguiente manera: *“Cuando se aplica una fuerza externa a la galga, la armadura se mueve en la dirección indicada. Los elementos A y D incrementan su longitud, mientras los elementos B y C disminuyen. El cambio de resistencia de los cuatro filamentos es proporcional al cambio de longitud, y esto se puede medir mediante el puente de Wheatstone.”*

Según su Geometría.

Galga Uniaxial.

Consiste en una galga de láminas simples que mide la deformación que sufre la pieza instrumentada solo en la dirección en la que se encuentran dispuestos sus hilos. Son prácticamente insensibles a la deformación transversal. Son principalmente utilizadas para medir deformaciones simples en una sola dirección.



Figura 2.13 Galga uniaxial (Idrovo & Quintanilla, 2010).

Galga Biaxial.

Este tipo de galga proporciona mediciones más precisas en comparación con las galgas uniaxiales debido a que miden, simultáneamente, esfuerzos en dos direcciones como efecto de la disposición perpendicular de los hilos sensibles. Por lo que son capaces de medir las deformaciones longitudinales (alargamiento o reducción) y deformaciones transversales (aumento o disminución de la sección transversal) de la pieza en la que se dispone la galga.

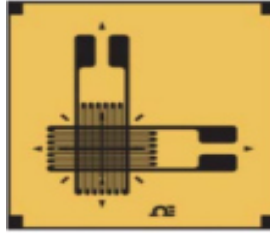


Figura 2.14 Galga biaxial (Idrovo & Quintanilla, 2010).

Galga Tipo Roseta.

Para estados biaxiales de esfuerzos, una roseta de dos o tres elementos puede ser requerida para determinar los principales esfuerzos en el plano a analizar. Cuando se tiene conocimiento de la dirección de los esfuerzos, una roseta de dos elementos o de 90° puede ser empleada con las direcciones de los ejes alineadas con los esfuerzos. Cuando se desconocen las direcciones de los esfuerzos se puede emplear un arreglo de tres galgas lo cual implica medir la deformación en el eje x , en el eje y , y la deformación cortante en el plano xy . Dicha configuración de galga, llamada roseta, puede ser ubicada con cualquier orientación dependiendo del eje principal que se desea medir en la pieza. Las rosetas de tres elementos se encuentran disponibles tanto en configuraciones rectangulares de 45° como configuraciones Delta de 60° .

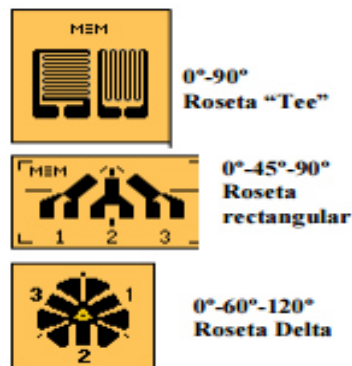


Figura 2.15 Galgas tipo roseta (Sosa, s. f).

2.4.2 Consideraciones para la Elección de un Galga

Extensiométrica.

En este apartado se describe información importante que se debe de tener en cuenta para la correcta selección de una galga extensiométrica que se adecúe a las necesidades particulares de cada aplicación. No es un proceso

sencillo ya que se deben de tomar en cuenta una gran variedad de factores que definen el patrón de medición de la galga. Pero para efectos prácticos a continuación se expone una serie de pasos con los cuales se puede elegir la galga adecuada. Y está estructurado de la siguiente manera:

- 1) Longitud
- 2) Patrón
- 3) Serie
- 4) Opciones
- 5) Resistencia
- 6) Número STC



Figura 2.16 Selección de tipo de galga (Sosa, s. f).

Longitud de la Galga.

Este es uno de los parámetros más importantes a elegir y uno de los que es recomendable seleccionar en primera instancia y depende del espacio que se tenga disponible para montar la galga. Como medida inicial recomendable se puede elegir una galga de 3 mm de longitud. Esta medida ofrece una amplia gama de posibilidades dentro de las cuales se puede elegir los restantes parámetros como son el patrón, serie y resistencia. Por otro lado, una galga de menor longitud puede ser necesaria cuando el objeto a medir presenta picos de esfuerzos como en un codo o agujero.

Patrón del Elemento Sensible.

En esta parte se define el patrón de la rejilla de la galga que va a ser utilizada y depende de la naturaleza de los esfuerzos que se vayan a dimensionar (uniaxiales, biaxiales, etc.). Se debe de considerar si se desea utilizar una galga simple o si se requiere una roseta.

Serie de la Galga.

Una vez que se ha seleccionado tanto la longitud como el patrón de la galga, el próximo paso a realizar es el de la selección de la serie de la galga. Es aquí donde se determina la combinación entre el papel metálico y el material de

respaldo, así como cualquier característica común de la serie. Esto se realiza refiriéndose a una tabla que recomienda a una serie en particular para ciertos requerimientos específicos (Anexo III).

Opciones (si existen):

Si la serie de la galga tiene alguna opción adicional en particular, debe de ser seleccionada en esta instancia. Esta parte del proceso no es muy poco común por lo que generalmente es omitida.

Resistencia de la Galga.

Existen factores que se deben de considerar antes de seleccionar la resistencia de una galga, que como ya se había mencionado con anterioridad, se pueden encontrar en rangos de 120, 350 y 1000 Ω . Se debe de tener en cuenta si la resistencia es compatible con el instrumento de medición que se va a utilizar. Además, esta decisión puede ser influenciada por consideraciones de costo, particularmente en el caso de las galgas pequeñas. Hay que tener en cuenta también que se reduce la vida útil por fatiga para galgas de pequeñas dimensiones y altas resistencia.

Número STC.

Como recomendación final en la selección adecuada de una galga se debe de elegir un número STC, el cual está directamente relacionado con el uso de diferentes materiales con coeficientes térmicos de expansión específicos (Anexo IV).

2.4.3 Interpretación de la Información Recolectada con una Galga

Extensiométrica.

Para hablar de la interpretación de la información recolectada por una galga extensiométrica es indispensable entender el funcionamiento del puente de Wheatstone. El puente de Wheatstone se utiliza esencialmente para detectar cambios en resistencia muy pequeños, tal como ocurre en las mediciones con galgas extensiométricas. La configuración más utilizada para el puente de Wheatstone es el que se aprecia en la siguiente figura.

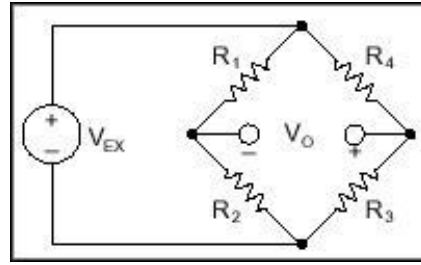


Figura 2.17 Puente de Wheatstone. (National Instruments, 2015)

En esencia, consiste en la conexión de cuatro resistencia alimentadas por un voltaje de excitación, V_{EX} , que es aplicado a través del todo el puente. En este caso el voltaje de salida V_O , se determina de la siguiente forma:

$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] * V_{ex} \quad (1)$$

En base a esta ecuación, se puede apreciar que cuando las resistencias son iguales, el voltaje de salida, V_O , es cero. Bajo esta premisa, se afirma que el puente está balanceado y cualquier cambio sufrido en la cualquiera de las resistencias del puente resultará en un voltaje de salida diferente de cero.

Es bajo estas condiciones que para tener un puente completo y realizar las mediciones con galgas extensiométricas se realiza un circuito donde se instalan 4 resistencia de la misma capacidad en el que una de ellas es una galga, misma que será la única que mostrará cambios y será así como se obtendrán las mediciones de deformación (hablando de la configuración de $\frac{1}{4}$ de puente). Esto se explica de la siguiente manera: si la resistencia nominal de la galga extensiométrica se designa por R_G , entonces el cambio inducido por tensión en la resistencia, DR , se puede expresar como $DR = R_G * GF * \epsilon$. Asumiendo que $R_1 = R_2$ y $R_3 = R_G$, la ecuación previa del puente se puede reescribir para expresar V_O/V_{EX} como una función de la tensión. Se puede apreciar la presencia del término $1/(1 + GF * \epsilon/2)$ que indica la no linealidad de la salida en un cuarto de puente con respecto a la tensión.

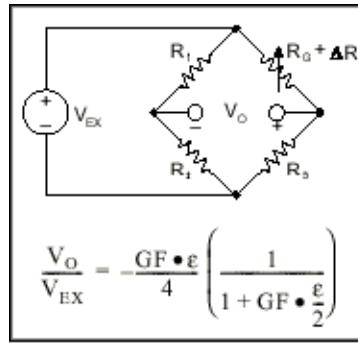


Figura 2.18 Circuito para medición con galga extensiométrica. (National Instruments, 2015)

Este tipo de sistemas de medición se utilizan debido a que en la práctica, las mediciones de tensión rara vez involucran cantidades mayores a unas pocas milésimas de tensión ($\epsilon \times 10^{-3}$). Por tanto, la medición de tensión requiere de exactitud en la detección de cambios muy pequeños en resistencia.

Cabe mencionar que existen configuraciones de puente de Wheatstone adicionales como lo es el de medio puente, donde se utilizan dos resistencia de precisión y dos galgas, y también se tiene la configuración de puente completo, en donde se utilizan 4 galgas extensiométricas. La selección de la configuración adecuada depende de las necesidades de recolección de datos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico hace énfasis en temas referentes al proceso de investigación empleado en este estudio. Se detalla el tipo de investigación utilizado así como las fases que integraron el proyecto. Es aquí donde se muestra el proceso puntual de cada etapa de evolución del mismo.

3.1 Tipo de Investigación.

Este trabajo de investigación es un estudio de tipo experimental ya que emplea experimentos y principios encontrados en el método científico. Los experimentos son llevados a cabo tanto en laboratorio, es decir de manera estacionaria, como en campo de manera dinámica. En el laboratorio se realizaron pruebas para configurar los sensores, mientras que en campo se llevaron a cabo actividades para el arreglo de las corridas o pruebas a realizar en el vehículo.

3.2 Fases de la Investigación.

El proceso para llevar a cabo este trabajo de investigación se compone de 5 fases, por medio de las cuales se pretende cumplir con los objetivos del proyecto. Las fases se detallan de la siguiente manera:

- Fase 1: Investigación, Documentación y Estado del Arte.
- Fase 2: Selección y Adquisición de Materiales y Equipos.
- Fase 3: Configuración del Equipo de Adquisición de Datos.
- Fase 4: Diseño y Desarrollo de Sistema de Adquisición de Datos en Ruta.
- Fase 5: Realización de Pruebas de Campo.

3.2.1 Fase 1: Investigación, Documentación y Estado del Arte.

La fase inicial del desarrollo de este proyecto de investigación fue la documentación del estado del arte de las principales tecnologías que se emplean en el proceso de recolección de datos en ruta en el sector transporte. Lo anterior, con la intención de obtener la mayor cantidad de información y conocimiento de todos los aspectos que integran este tema.

El estado del arte y la documentación del mismo se pueden apreciar en el capítulo I, por lo que en este apartado solo se hará referencia al mismo. Es importante mencionar que adicionalmente a la investigación y documentación

de las principales áreas de interés del proceso “RLDA”; lo cual se determinó como la parte externa de la investigación, se realizó un proceso de investigación interna en la que se revisó una gran cantidad de información con referencia al tema perteneciente a Navistar®. Esto con la intención de plantear un proyecto “*ad hoc*” a las necesidades de la misma y que se cumpliera con los objetivos de este proyecto.

Las investigaciones internas que llevaron a cabo fueron, en primera instancia la revisión de trabajos de recolección de datos realizados previamente por personal de Navistar® en Estados Unidos. Pretendiendo con esto obtener el mayor grado de aprendizaje del mismo y tener un panorama más amplio del sistema de trabajo que la empresa emplea en este tipo de pruebas, buscando en todo momento respetar los protocolos y reglamentos ya establecidos. Fue en esta parte donde se revisó información de pruebas que vale la pena mencionar ya que se han realizado trabajos relativamente sencillos como lo es el análisis de fatiga en la estructura que soporta las baterías de los camiones, o la resistencia de los estribos, hasta pruebas tan complicadas como la validación de nuevas configuraciones de motor, sistema de propulsión, y suspensión, o pruebas en donde se utilizan más de 100 sensores para el análisis de todos factores de interés de un vehículo.

En esta fase de la investigación se realizó también un análisis para determinar qué vehículo de transporte era el que se iba a definir para realizar la prueba de campo. Esto se determinó en base a un análisis de los reclamos de garantías de los vehículos que se producen en México, mismo que fue filtrado para aquellos vehículos que más demanda tuvieran en el país. Para esto se realizó un estudio de las ventas de los tres últimos años para determinar cuál era el que presentaba mayores volúmenes. Los resultados arrojados por este análisis fue que el modelo ProStar® era el que encabezaba esta lista de manera unánime, los tres últimos años consecutivos (2013, 2014, 2015), seguido por el DuraStar® el cual era el que más se le acercaba con porcentajes de venta inferiores que iban desde el 14 hasta el 35%. Por lo cual se definió el modelo ProStar® como el más adecuado para la implementación del proyecto, pero se contaba con la limitación de elegir aquellos camiones que estaban destinados a pruebas en la planta Navistar® de Escobedo. Por tal motivo se tuvo que seleccionar aquel que más se asemejara a un ProStar® ya que no existía uno como tal para instrumentar. Con estas premisas de por medio se llegó a la conclusión de que el tractocamión LoneStar® era el más indicado. Cabe mencionar que para etapas posteriores se busca implementar mediciones en camiones ProStar® destinados a venta.

Además, en esta fase del proyecto se realizó un estudio de mercado para determinar el equipo de recolección de datos que más se adaptara a las necesidades del proyecto. Lo cual tuvo como resultado la información que a continuación se expone (las características generales de evaluación se definieron en base a los requerimientos de la empresa):

Somat	Dewesoft	Siemens	National Instruments
<i>eDaq</i>	<i>Sirius R8D</i>	<i>LMS Scadas Mobile</i>	<i>CompactRio</i>

Características Generales

No. Canales	X	8-128	8-216	X
Peso (Kg)	X	12	9	X
Dimensiones* (cm)	X x 23 x 27.6	31.3 x 44.6 x 16.5	34.5 x 14.2 x 30	8.8 x X x 9
Temperatura (°C)	-20 a 65	0 a 50	-20 a 55	-40 a 70
Señal	Análoga/Digital			
Comunicación	Ethernet/RS232 /GPS/CAN/Wi-Fi	Ethernet/Wi-Fi/USB/GPS/CAN	Ethernet/Wi-Fi/GPS/CAN	Ethernet/USB/CAN
Memoria	256 MB	128 GB	No	2 GB
Voltaje Excitación	10-60 Vcc	12-36 Vcd	9-42 Vcd	9-35 Vcd
Frecuencia	100 kHz	200 kHz	204.8 kHz	400 MHz
Resolución (Bits)	16	16	24	X
Batería Interna	Si	No	Si	No
Aplicación	Pruebas de diseño y desarrollo de productos/ Manufactura/ Adquisición de datos/Monitoreo y mantenimiento	Pruebas automotrices en ruta/ Pruebas en fuentes energéticas/ Análisis de señal dinámica	Amplia variedad de pruebas de ruido, vibración y durabilidad	Amplia aplicación en comunicación en red/Registro, control y procesamiento de datos

X es una variable que depende de la configuración del sistema.

* (Alto x Ancho x Profundo)

Tabla 3.1 Comparativa de equipos de adquisición de datos.

En la actualidad, existen una gran cantidad de equipos para recolección de datos, entre los que destacan Somat de HBM y LMS Scadas de la compañía Siemens que presentan sistemas con características innovadoras con una adquisición de datos fácil, accesible y confiable. Además ofrecen equipos robustos, portables y ligeros.

De manera detallada se describen a continuación algunos de los equipos que se ofrecen de manera comercial y que se revisaron para evaluar su implementación en el proyecto.

SOMAT eDAQ: Somat eDAQ de la empresa HBM, tiene muchas cualidades y es muy amigable con el modo de operación. Además, cuenta con operación y transferencia de datos vía inalámbrica, es modular, ofrece un sistema portátil y robusto a la vez.

SIRIUS R8D: El Sirius serie R8D de la empresa Dewesoft ofrece un sistema robusto y portable. Una de las ventajas que se visualizó en este equipo fue la compatibilidad con los sistemas operativos y sus programas para interpretar los datos. Ofrece tecnologías como la obtención de datos vía inalámbrica, sistema modular y fácil instalación para un sistema de posicionamiento global.

LMS SCADAS Mobile: Este es un sistema de adquisición de datos desarrollado por la empresa Siemens, la cual ofrece un equipo portable y eficiente. Es uno de los sistemas que ofrece más opciones, contando con adaptaciones de posicionamiento global, obtención de datos vía inalámbrica, protocolo de comunicación de conexión local, alta resolución y sistema modular.

NI cRIO: Este es un sistema desarrollado por la empresa National Instruments, el cual ofrece versatilidad, es fácil de utilizar, práctico y portátil. Es un sistema que permite la transferencia de datos en tiempo real por medio de una adaptación de sistema modular, es completamente configurable y adaptable a las necesidades del usuario.

Es importante señalar que estas son solo una muestra de las marcas que se revisaron y por efectos prácticos no se ilustran todas, solo aquellas que ofrecía las mejores características para el proyecto. Adicionalmente se revisaron marcas como Kistler, M+P International, NPrime, PCB Piezotronics, VTI Instruments, DTS, United Electronics, entre otras. Mismas que fueron descartadas porque no cumplían con los requerimientos básicos para su aplicación al proyecto. Estas características eran esencialmente que el equipo debería de ser compacto, tanto como para instalarse en la cabina del vehículo sin modificar nada en su interior. Robusto, como para soportar las condiciones en las que se maneja el vehículo. Que fuera configurable y contara con canales de medición suficientes para la recolección de datos requeridos, entre otras.

3.2.2 Fase 2: Selección y Adquisición de Materiales y Equipos.

En esta fase del proyecto se procedió a la determinación de la configuración del equipo de adquisición de datos que iba a ser utilizado. Así

como los materiales necesarios para la implementación del mismo con el fin tener la capacidad de recolectar datos de un vehículo en ruta.

Con base en el proceso de análisis, detallado en el apartado anterior, de los equipos que se ofrecen en el mercado y evaluando las necesidades del proyecto se llegó a la conclusión de que los equipos con mayor cumplimiento de requisitos en orden de importancia eran los siguientes:

1. CompactRIO de National Instruments.
2. SOMAT de HBM.
3. LMS SCADAS de Siemens.

La mejor opción seleccionada fue National Instruments que no necesariamente es el que cuenta con las mejores características de adquisición de datos pero que al ser uno de los más accesibles y con mejores características costo-beneficio resultó como el óptimo para este proyecto en particular ya que el tema económico era vital. Además de que por cuestiones de presupuestos adquirir un equipo de la capacidad requerida en otras marcas como Somat es muy costoso y requiere un tiempo considerable para su entrega. Por la misma razón fue que el equipo LMS está en la tercera posición debido a los costos y a que la atención posventa es poco personalizada.

El sistema cRIO de National Instruments seleccionado fue un CompactRIO de la serie 9014, el cual es un controlador que procesa la información en tiempo real y que cuenta con las siguientes características:

- Controlador embebido que ejecuta LabVIEW Real-Time para control, análisis y registro de datos determinísticos.
- Procesador de 400 MHz, almacenamiento no volátil de 2 Gb, memoria de 128 Mb DRAM.
- Puerto de Ethernet 10/100BASE-T con servidores embebidos de Web y archivos con interfaz de usuario de panel remoto.
- Puerto USB de alta velocidad para conexión a USB flash y dispositivos de memoria.
- Rango de temperatura de operación de -40 a 70 °C.



Figura 3.1 Sistema cRIO-9014 (National Instruments, 2015).

Aunado a este sistema se requiere de un chasis para el montaje de los módulos correspondientes con los que se va a recolectar la información. Se seleccionó un chasis cRIO-9104 de 8 slots con la intención de que el equipo fuera lo más configurable posible. Este chasis es embebido y cuenta con 8 ranuras que acepta cualquier módulo de E/S CompactRIO. Contiene un núcleo FPGA de E/S reconfigurable (RIO) de 3M de compuertas para máximo poder de procesamiento.



Figura 3.2 Chasis cRIO-9104 de 8 slots (National Instruments, 2015).

Finalmente, para completar el sistema de recolección de datos que se iba a utilizar se seleccionaron 4 módulos necesarios para obtener la información más importante del vehículo de carga. Estos módulos se detallan a continuación:

NI 9205: cuenta con 32 canales de una sola terminal o 16 canales diferenciales, con una velocidad de muestreo de 250 kS/s, rangos de medida programables de ± 200 mV, ± 1 V, ± 5 V y ± 10 V; resolución de 16 bits, aislamiento de canal a

tierra de 250 Vrms, CAT II (terminal de resorte) o canal a tierra de 60 VDC, CAT I (D-SUB). Conectores disponibles con terminal de resorte de 36 posiciones o D-SUB de 37 pines. La temperatura de operación es de -40 °C a 70 °C, 5 g de vibración, 50 g de impacto. Este módulo proporciona lectura de señales análogas por medio de las cuales se pueden medir los voltajes que proporcionan los sensores.



Figura 3.3 Módulo NI 9205 (National Instruments, 2015).

NI 9233: Es un módulo que cuenta con acondicionamiento de señales IEPE de 2 mA para micrófonos y acelerómetros, cuenta con una máxima velocidad de muestreo de 50 kS/s por canal; acoplado en AC (0.5 Hz). Una resolución de 24 bits; rango dinámico de 102 dB; filtros anti-aliasing, 4 entradas analógicas muestreadas simultáneamente, rango de entrada ± 5 V y compatibilidad con sensores inteligentes TEDS. Este módulo es específicamente para la medición de acelerómetros y micrófonos pero en este caso solo se empleará para conexión con acelerómetros por medio de la conexión tipo Bnc que es la que se aprecia en la siguiente figura.



Figura 3.4 Módulo NI 9233 (National Instruments, 2015).

Aunque en este proyecto no se detalla el trabajo con el protocolo de comunicación CAN, se seleccionaron dos módulos para su implementación en etapas de investigación futura. Uno de alta velocidad y otro de baja para adaptarse a las necesidades de conexión con cada tipo de vehículo.

NI 9852: Cuenta con 2 puertos CAN a baja velocidad tolerante a fallas para NI CompactRIO, con razón máxima de transferencia de 125 kbit/s. Es compatible con ISO 11898 para la identificación de arbitraje estándar (11 bits) y extendido (29 bits). Tiene un tipo de conexión DB-9 macho estándar para cada puerto, un controlador CAN Philips SJA1000 y transceptor CAN TJA1054A. Terminación seleccionable por software y habilidad para registrar errores de bus y fallas de transceptor. Este módulo al igual que el NI 9853 que también se especifica más adelante son utilizados para establecer la conexión con el automóvil por medio del bus CAN.

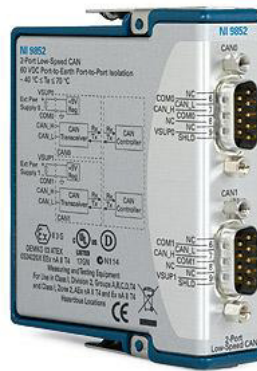


Figura 3.5 Módulo NI 9852 (National Instruments, 2015).

NI 9853: Módulo CAN de alta velocidad de 2 puertos, puerto 1 alimentado internamente, puerto 2 alimentado externamente. Cuenta con un conector macho estándar DE9M (DB9) para cada puerto, un controlador CAN Philips SJA1000 y transceptor Philips TJA1041, sincronización de hardware con cualquier módulo de E/S NI CompactRIO. Es compatible con ISO 11898 para la identificación de arbitraje estándar (11 bits) y extendido (29 bits). Tiene la capacidad de transmitir/recibir 100% de la carga del bus a 1 Mbit/s. Este módulo es exclusivo para la conexión tipo CAN y lo que lo difiere del NI 9852 es básicamente que éste utiliza un protocolo de transferencia de alta velocidad.

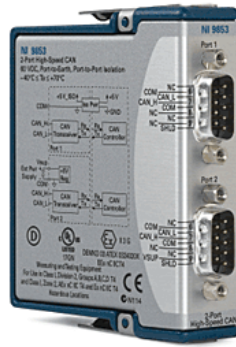


Figura 3.6 Módulo NI 9853 (National Instruments, 2015).

Además de seleccionar el equipo de adquisición de datos fue necesario determinar los tipos de sensores que se utilizarían. Para lo cual se tomó la decisión, en base a los estudios realizados, las pruebas consultadas en la empresa y la disponibilidad de recursos, que se utilizarían únicamente acelerómetros y galgas extensiométricas. Se determinó que se emplearían acelerómetros de 100 G de capacidad de medición y galgas extensiométricas de 120 Ohms. A continuación se muestran los detalles de cada uno de estos sensores:

Acclerómetros: El acclerómetro seleccionado fue uno de la marca Silicon Design serie 2220-100 de 100 G de capacidad de medición. Este sensor es un acclerómetro de un solo eje manufacturado por micromecanizado capacitivo, totalmente calibrado, con un bajo consumo de energía, un voltaje de medición de $\pm 4V$ diferencial o 0.5 a 4.5 V de salida única, una temperatura de operación de -40 a +125 °C y requiere de una alimentación de +9 a +32 VCD. Utiliza 4 cables para su conexión. Es un sensor que cuenta con un módulo robusto de aluminio anodizado, provee bajo nivel de ruido y esta serializado para trazabilidad.

Las aplicaciones para las que está diseñado este sensor son principalmente pruebas de choque, monitoreo y análisis de vibración, control de maquinas, análisis modal e instrumentación. Por lo que resulta adecuado para su aplicación en el proyecto ya que no solo se desea dimensionar aceleraciones y velocidades sino también vibraciones por lo que se requiere niveles altos de capacidad de mediciones en G's.

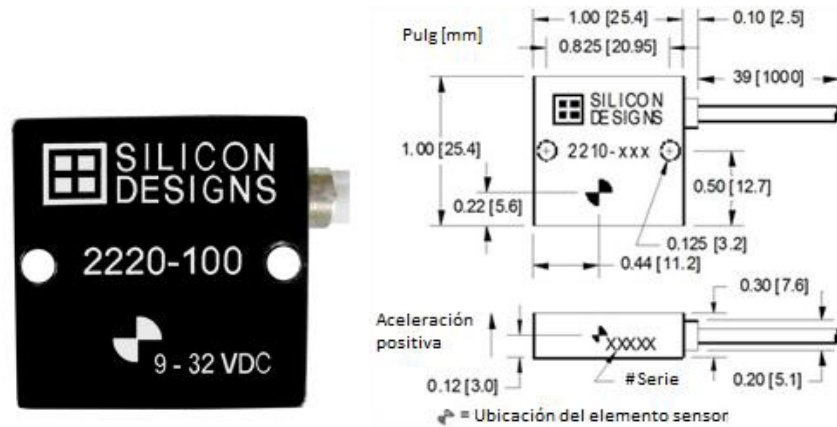


Figura 3.7 Acelerómetro 2220-100. Adaptado de Silicon Design, 2011.

Galga Extensiométrica: La galga seleccionada para este proyecto fue una de la marca Vishay Micro-Measurements serie CEA-06-125UN-120. Este sensor es una galga de uso general con una geometría estrecha para medición de deformaciones en una sola dirección y dispuesta para análisis de estrés tanto estático como dinámico. Cuenta con una pestaña de soldadura expuesta 0.06 x 0.05 pulg [1.5 x 1.1 mm] para ser conectada con el cable de instrumentación. La resistencia que posee es de $120 \pm 3\%$ Ohms, un factor de galga de $2.085 \pm 0.5\%$ y una sensibilidad transversal de $(+0.7 \pm 0.2)\%$. Todo lo anterior a una temperatura de 24 °C.

Posee las siguientes medidas: longitud de la rejilla de 3.18 mm, longitud total de 6.99 mm, ancho de la rejilla de 2.54 mm, ancho total de 3.05 mm, longitud de la matriz de 9.7 mm, y ancho de la matriz de 4.8 mm. Cuenta con características adecuadas para la implementación en un vehículo ya que es compatible con mediciones en una gran cantidad de aceros así como aleaciones que son los que más predominan en los vehículos de la compañía Navistar®.

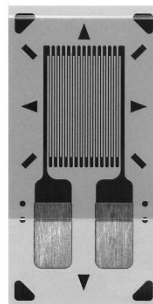


Figura 3.8 Galga Extensiométrica seleccionada (Vishay Presicion Group, 2010).

Otro aspecto de importancia relativa a seleccionar para el proceso de adquisición de datos es el tipo de cable que se utilizaría para la instrumentación. Ya que la información que se transfiere depende de la capacidad del mismo, lo que amerita que sea uno específico para la transferencia de voltajes y que provea un nivel de ruido mínimo.

Cable para instrumentación: El cable seleccionado fue uno de la marca Belden, serie 9534. Este es un multiconductor con aplicación de uso computacional EIA RS-232. Las características principales son que es un cable blindado constituido por 4 cables internos de 24 AWG (7x32) de cobre, con insolación o recubrimiento de PVC. La temperatura recomendada de operación es de -30 a +80 °C, el peso promedio que maneja es de 29.764 Kg/Km, una resistencia a la tensión máxima de 97.86 N; con características eléctricas de un voltaje de operación máximo de 300V RMS y corriente máxima recomendada de 1.75 A por conductor a 25 °C.

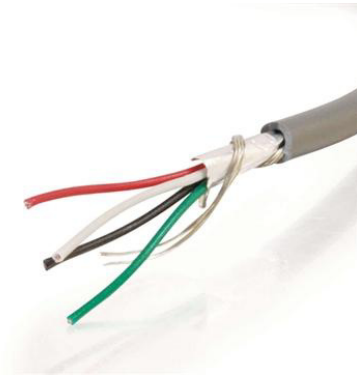


Figura 3.9 Cable Belden para instrumentación (Belden, 2013).

El listado total de los materiales que se requirieron para el desarrollo del sistema de adquisición de datos se detallan en el Anexo VI.

3.2.3 Fase 3: Configuración del Equipo de Adquisición de Datos.

En esta etapa del proyecto se describe el proceso para la configuración del cRIO-9014. Vale la pena señalar que este es una etapa de mucha importancia en el proyecto debido a que de esto depende que tan eficiente sea el desempeño del equipo de recolección de datos, y en caso extremo que funcione de manera adecuada o no. El proceso detallado así como toda la información de configuración se encuentra en el Anexo VII por lo cual solo se hace mención en este apartado.

3.2.4 Fase 4: Diseño y Desarrollo de Sistema de Adquisición de Datos en Ruta.

La cuarta fase de este proyecto de investigación comprende el proceso de diseño y desarrollo del sistema de adquisición de datos y su configuración para ser implementado en el vehículo. Para completar esta fase se requirió dividirla en etapas las cuales se describen a continuación:

- Etapa 1: Desarrollo de Caja Contenedora.
- Etapa 2: Ensamble de Componentes.
- Etapa 3: Programación en LabView.

Etapas 1: Desarrollo de Caja Metálica.

Como parte de la configuración del sistema de adquisición de datos se diseñó una caja metálica. Esta caja cumple con dos funciones principales, la primera de ellas era la de contener la mayoría de los componentes que integrarían el sistema de adquisición de datos incluyendo: el equipo de adquisición de datos, la fuente de poder, conectores para sensores y el sistema eléctrico, entre otras cosas. La segunda función era la de proteger el módulo de adquisición de datos de factores externos como lo eran golpes, vibraciones, escurrimientos de algún líquido, entre otras cosas; ya que según las especificaciones de este equipo no es muy robusto contra factores del medio ambiente. Por tal motivo y para contar con una mejor organización de los componentes se decidió la fabricación de una caja metálica.

Se utilizó aluminio H-14 C10. Este tipo de aluminio, según la compañía proveedora, es un material templado mediante trabajo mecánico en frío, con grado medio duro. Por lo que se adaptaba correctamente a las necesidades de funcionalidad. Además de que se seleccionó el aluminio como material de construcción debido a su propiedad disipadora de calor con lo que se evita el sobrecalentamiento del equipo, además de que es un material ligero, resistente y fácil de manipular.

En primera instancia se recurrió al diseño de la caja por medio del software Siemens NX con lo que se concluyó con la siguiente configuración:

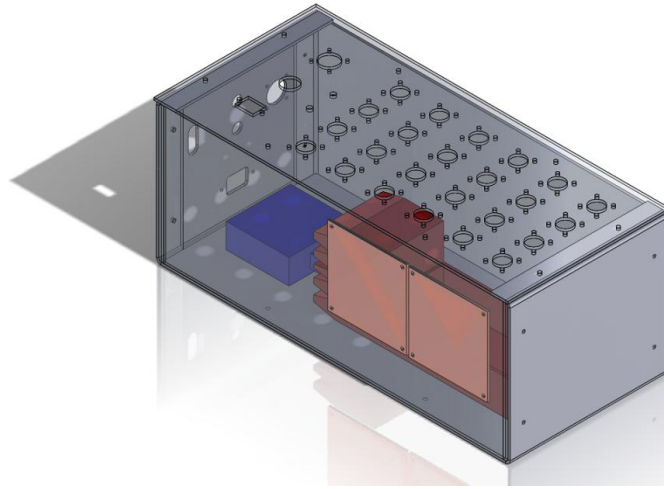


Figura 3.10 Diseño caja metálica en NX. (Ricardo Cárdenas, 2015)

Una vez realizado el diseño de la caja se procedió a la manufactura de la misma, para esto se realizaron los cortes correspondientes por medio de tecnología de corte por chorro de agua. La maquinaria utilizada fue una Waterjet Mach 2 serie 1313b de la compañía Flow.

Se realizaron 4 cortes para integrar la caja en su totalidad. La parte principal fue la de la tapa en donde se localizan todos los agujeros de los conectores de los sensores (1). Posteriormente se realizó el corte de lo que conformaría la base y dos paredes de la caja (2). Se procedió al corte de las dos paredes restantes de la caja que únicamente se cortaron como dos láminas rectangulares de las mismas dimensiones, específicamente de 490 mm largo y 174 mm de alto. Finalmente, se realizaron los dobleces de la caja que eran básicamente las pestañas de las paredes a 90° a 25.5 mm del borde de la lámina (3).



Figura 3.11 Proceso de corte y doblado de las partes de la caja.

Adicionalmente, realizó el doblado de la base de la caja. Aquí se llevaron a cabo 4 dobleces, como se ilustra en la siguiente figura.

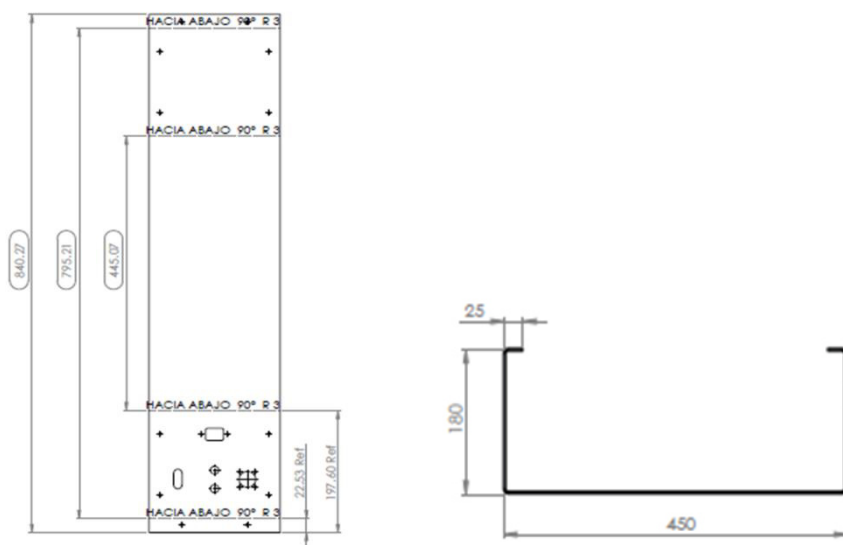


Figura 3.12 Dobleces de la base de la caja. (Ricardo Cárdenas, 2015)

Finalmente se procedió a realizar todos los agujeros para la tornillería que sujetaría cada uno de los dispositivos de la caja. Algunos se hicieron con un taladro manual, por ejemplo los que sujetarían las distintas paredes;

mientras que los que requería de más precisión, como los de los conectores de la tapa, se realizaron con una fresadora manual.

Etapas 2: Ensamble de Componentes.

En esta etapa se llevó a cabo la tarea de instalar todos los componentes que integrarían el sistema de adquisición de datos. Por una parte, los conectores de los sensores que se encuentran ubicados en la parte superior de la caja, mismos que servirían para la conexión de los sensores.

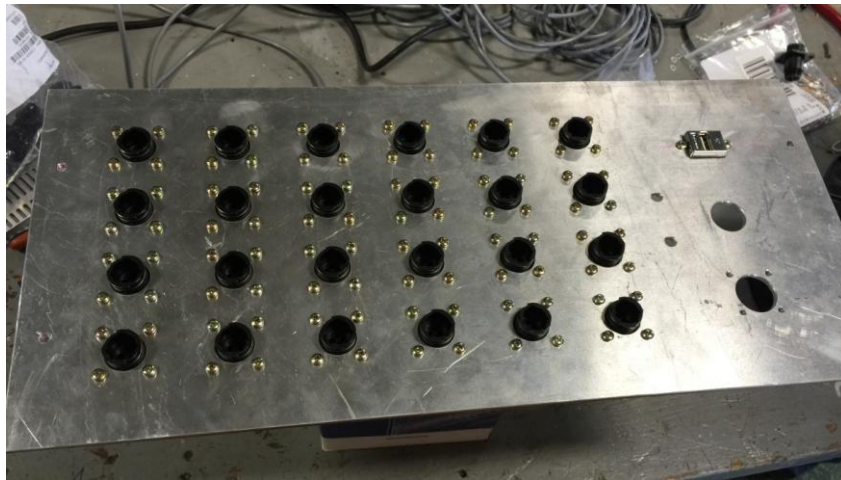


Figura 3.13 Conectores de sensores instalados.

Por otra parte, todos los conectores que integrarían el circuito eléctrico de la caja como lo son el conector tipo banana para la conexión de voltaje de 12 V, interruptores, leds y el tomacorriente de 120 V. De la misma manera el conector CAN, conector USB y Ethernet, así como las bases o patas de la caja, agarraderas, etc. Fue aquí también donde se realizó el etiquetado de la los distintos componentes.



Figura 3.14 Conectores etiquetados y bases.

Se instaló el cableado necesario para el funcionamiento del sistema de adquisición de datos, tanto de la conexión de los sensores como del circuito eléctrico.

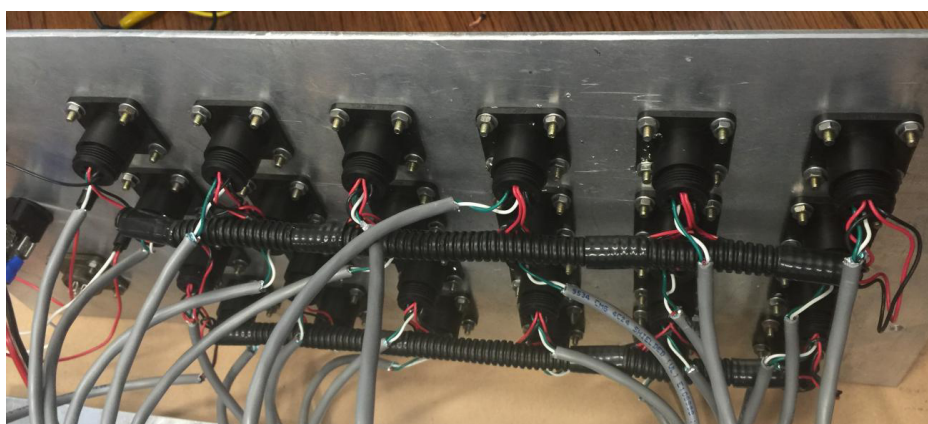


Figura 3.15 Conexión de cable de datos.

Con el objetivo de realizar los puentes de Wheatstone de las galgas extensiométricas se diseñó una tabla de circuitos para su respectiva conexión tal como se ilustra en la siguiente figura.

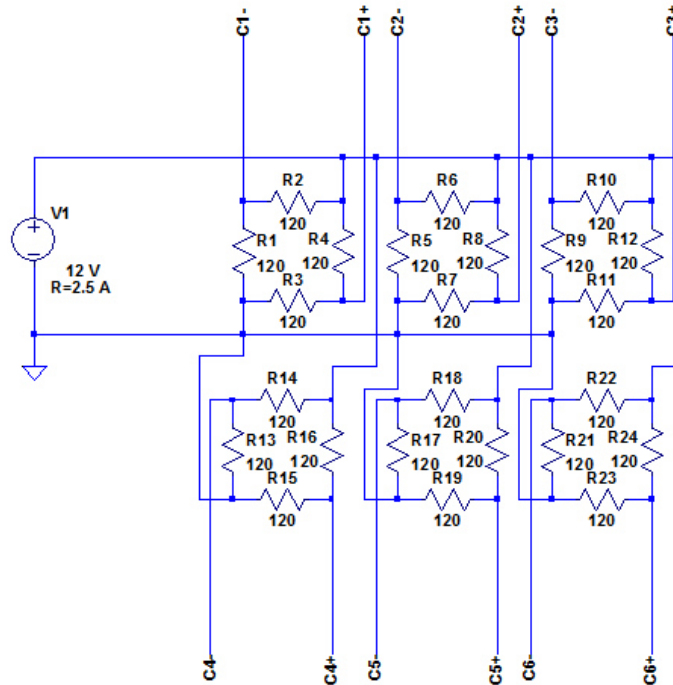


Figura 3.16 Circuito para conexión de galgas.

La configuración que se implementó fue un cuarto de puente con la galga ubicada en la posición de la denominada R_4 , R_8 , R_{12} y así consecutivamente hasta R_{24} . Con una resistencia de $120\ \Omega$ y una tolerancia de 0.3%. Las resistencias que completaron el puente fueron, de igual forma de $120\ \Omega$ y una tolerancia de 0.01%.

Para el diseño del circuito se utilizó el programa LTspice, principalmente para la configuración y la realización de pruebas piloto. El software LTspice es un simulador de circuitos electrónicos integral producido por el fabricante de semiconductores “Linear Technology” (LTC).

Adicionalmente, se instalaron amplificadores de instrumentación para incrementar la señal de la galga, debido a que el módulo de adquisición de datos utilizado para este estudio no contaba con acondicionamiento para señales de este tipo de sensor. EL amplificador utilizado fue el INA 114 de la marca Burr Brown. El cual se usó de la siguiente manera:

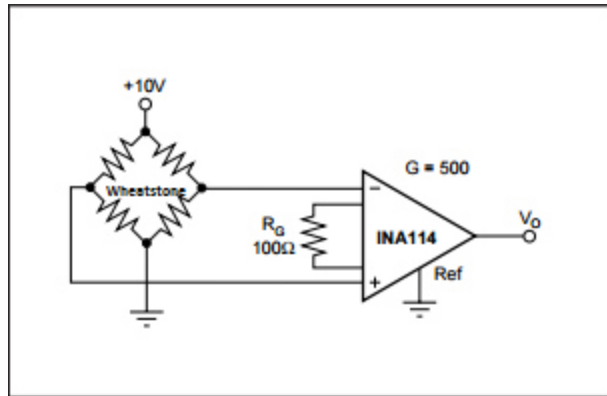


Figura 3.17 Circuito de conexión de amplificador de instrumentación. Adaptado Burr-Brown, 1998.

Donde:

R_g es la resistencia por medio de la cual se regula la amplificación.

V_o es la señal de salida del amplificador.

Ref es la referencia a tierra de la señal.

G la multiplicación o amplificación de la señal.

Wheatstone es el puente para la obtención de medición de las galgas.

Finalmente se realizaron las conexiones correspondientes de alimentación de corriente y flujo de datos en donde se conectó la fuente de poder, la comunicación USB y Ethernet entre otras cosas, con lo que se obtuvo un equipo funcional listo para su utilización. El sistema eléctrico del equipo DAQ se diseñó de igual manera en el software LTSpice, mismo que se muestra a continuación:

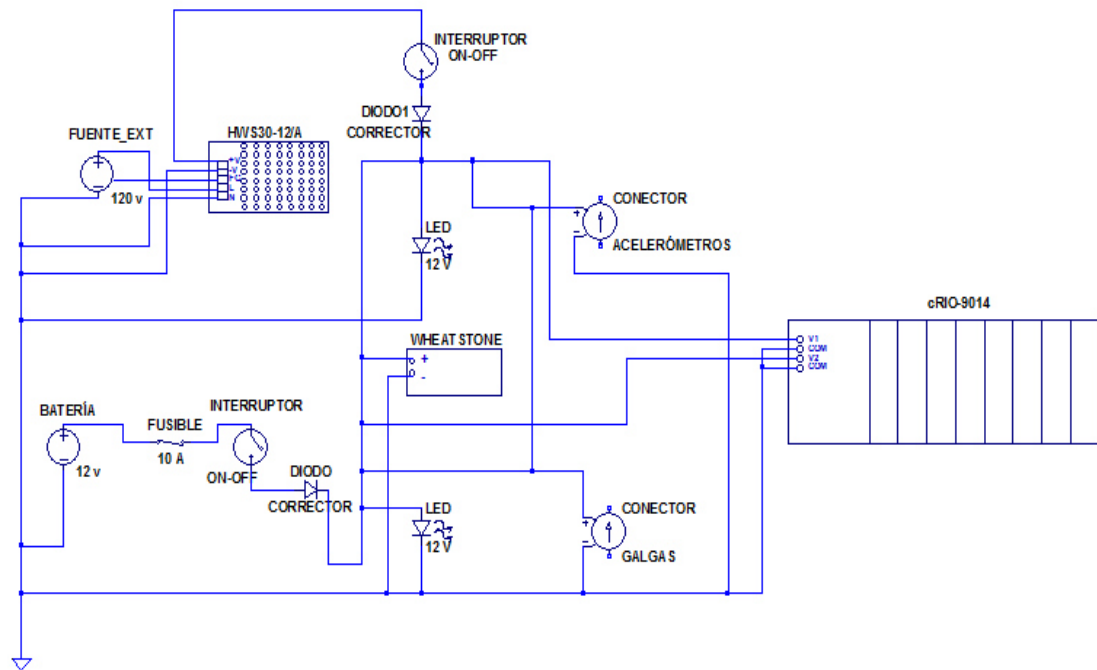


Figura 3.18 Circuito de conexión eléctrica.

El equipo de adquisición de datos en ruta terminado se ilustra en la siguiente imagen, en donde se puede apreciar la estructura interna del mismo.



Figura 3.19 Estructura interna del equipo DAQ.

Etapas 3: Programación en LabView.

Una de las partes esenciales en el desarrollo del sistema de adquisición de datos fue la programación. En este caso en particular, al ser un sistema de National Instruments, se requiere de la configuración del equipo por medio de Labview. Labview es una plataforma de programación gráfica muy amigable que ayuda a escalar desde el diseño elemental hasta pruebas complejas.

Para realizar este proceso se requirió de una capacitación previa ya que es un software muy completo y el conocer las herramientas más adecuadas para cada aplicación se vuelve bastante complicado. Por lo que fue necesario tomar los cursos Core 1 y Core 2 que son las etapas básicas del conocimiento de este programa. Una vez adquiridas las herramientas necesarias para la programación del sistema se procedió a realizar un serie de VI's, que es la estructura de programación utilizado para la recolección de datos en tiempo real.

En la realización de esta tarea surgieron muchas incógnitas que se fueron resolviendo por medio de prueba y error de programación y la depuración de distintos programas. Incógnitas desde cómo almacenar los datos en la computadora o en una memoria externa, la configuración de los canales de los módulos, la reducción del ruido y la estabilización de la señal brindada por cada sensor, entre muchos detalles más.

Finalmente se concluyó en un programa que cumplía con las necesidades del proyecto y que tenía una estructura como la que se observa en la siguiente imagen:

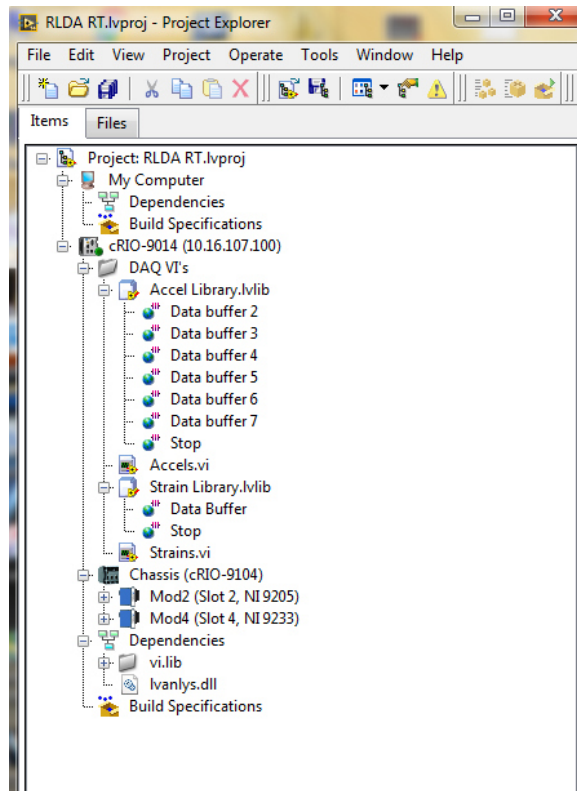


Figura 3.20 Estructura del proyecto de programación de Labview.

En esencia el programa recolecta información de 24 sensores, 16 acelerómetros y 6 galgas extensiométricas, en ambos casos uniaxiales. Se programó el software para realizar un registro de los voltajes que provee cada sensor y mostrarlos de manera gráfica. Para el caso de las galgas se utiliza una sola gráfica donde se aprecian los 6 sensores y para los acelerómetros se configuró para mostrar configuraciones triaxiales.

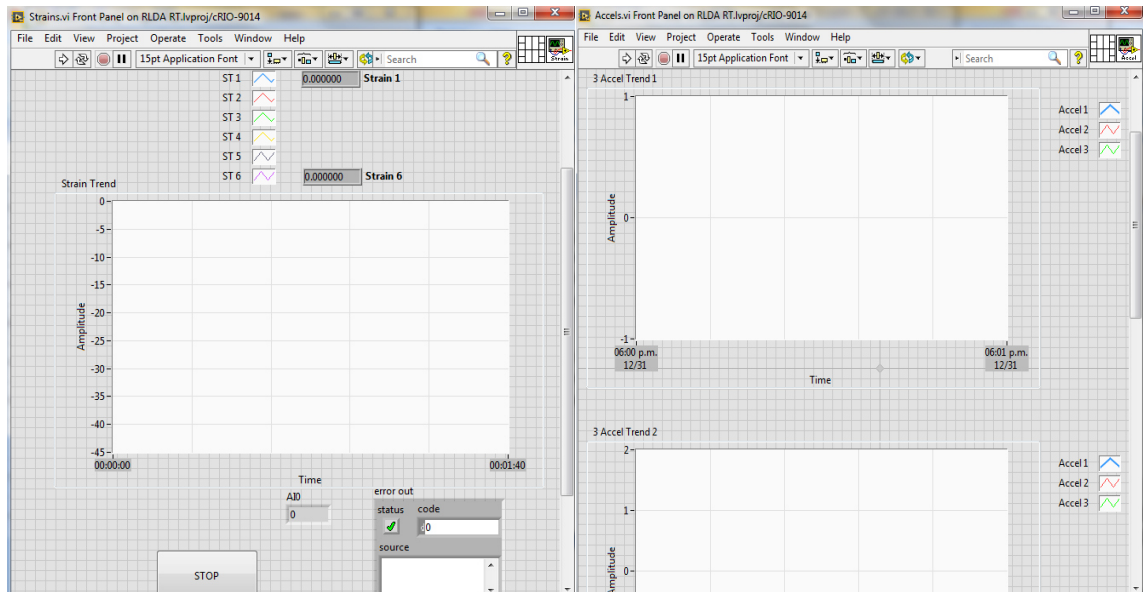


Figura 3.21 Visualización de información en el software.

Para lograr lo anterior se diseñaron 2 VI's por separado. Uno para la recolección de datos de los acelerómetros y otro para las galgas. El programa para la recolección de los datos de las galgas extensiométricas quedó estructurado de la siguiente manera:

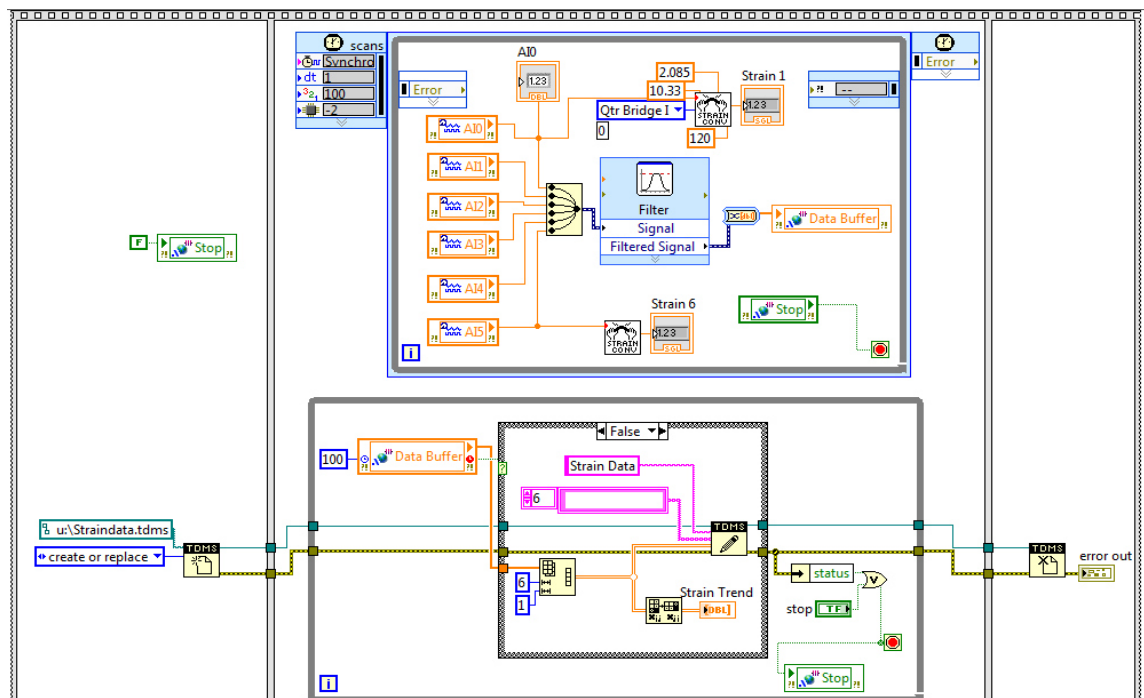


Figura 3.22 Programación en Labview para recolección de datos de galgas extensiométricas.

EL VI para la recolección de los datos de los acelerómetros se estructuró de la misma forma, solo con la variante de que se multiplicó por 6 la estructura para poder mostrar la información de los 18 sensores en configuración triaxial:

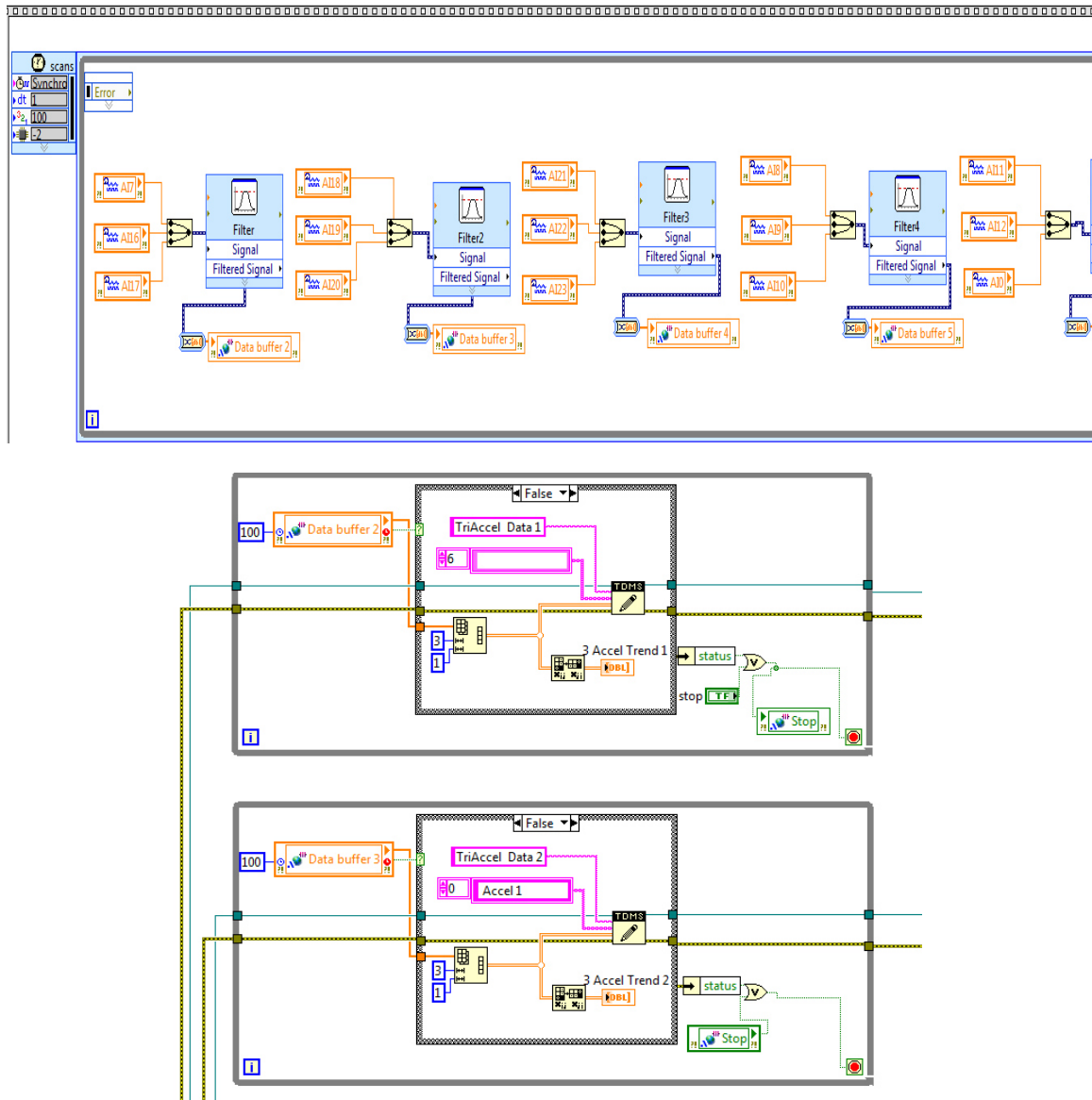


Figura 3.23 Programación en Labview para recolección de datos de acelerómetros.

Para la programación del equipo de adquisición de datos se optó por elegir Labview en el modo “Scan Interface” el cual permite trabajar con programación “Real-Time”. Este tipo de programación se utiliza para aplicaciones en las que se requiere acceso de un solo punto de entrada/salida y niveles de muestreo de cientos de Hz. Se utilizó un proceso de programación

de tres rutinas por medio de la ciclo “Flat Sequence Structure”, el cual se detalla en la siguiente imagen.

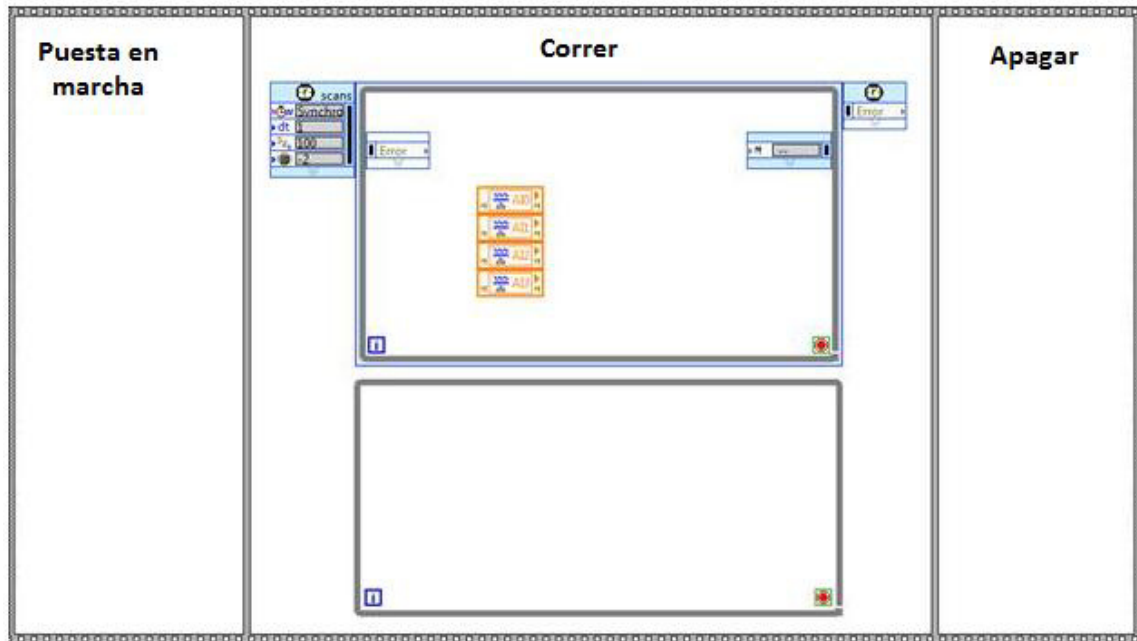


Figura 3.24 “Flat Sequence Structure”.

En esta misma imagen se puede apreciar también un “Timed Loop” (parte superior). Esta estructura según National Instruments (2015) “Ejecuta uno o más subdiagramas o marcos, secuencialmente cada iteración del ciclo en el período que se especifique. Se utiliza el “Timed Loop” cuando se quiere desarrollar VI's con capacidades de sincronización multifrecuencia, momento preciso, información sobre la ejecución del ciclo, características que cambian dinámicamente, o varios niveles de prioridad de ejecución de temporización.” Es aquí donde se define el número de iteraciones a realizar, así como también la frecuencia de muestreo, entre otros aspectos de interés. Se programó una frecuencia de muestreo de 512 Hz.

En la parte inferior del “Flat Sequence Structure” se tiene un “While Loop”. Esta estructura se encarga de realizar repeticiones del código que se programa en su interior hasta que una condición específica ocurra. Esta estructura siempre se ejecuta por lo menos una vez. Dentro del “While Loop” se introdujo un “Case Structure” para administrar el registro de los datos. Este tipo de estructuras contiene uno o más subdiagramas o casos, generalmente dentro de las ventanas de verdadero o falso, cada una de las cuales se ejecuta por separado dependiendo de la condición en la que se encuentre la estructura. La

información con la que se alimenta esta estructura determina cuál de los casos se ejecuta durante la recolección de los datos.

Se utilizó un sistema de almacenamiento de la información en formato TDMS. Los archivos de este tipo se utilizan cuando se quiere almacenar una gran cantidad de información ya que se logra comprimir de una manera muy eficiente los datos, además de que se muestran de manera ordenada en formato de Excel.

Se utilizaron variables globales para poder manipular los VI's de manera general, así como para la transferencia de la información recolectada. A continuación se muestra a detalle cada una de las partes de la estructura.

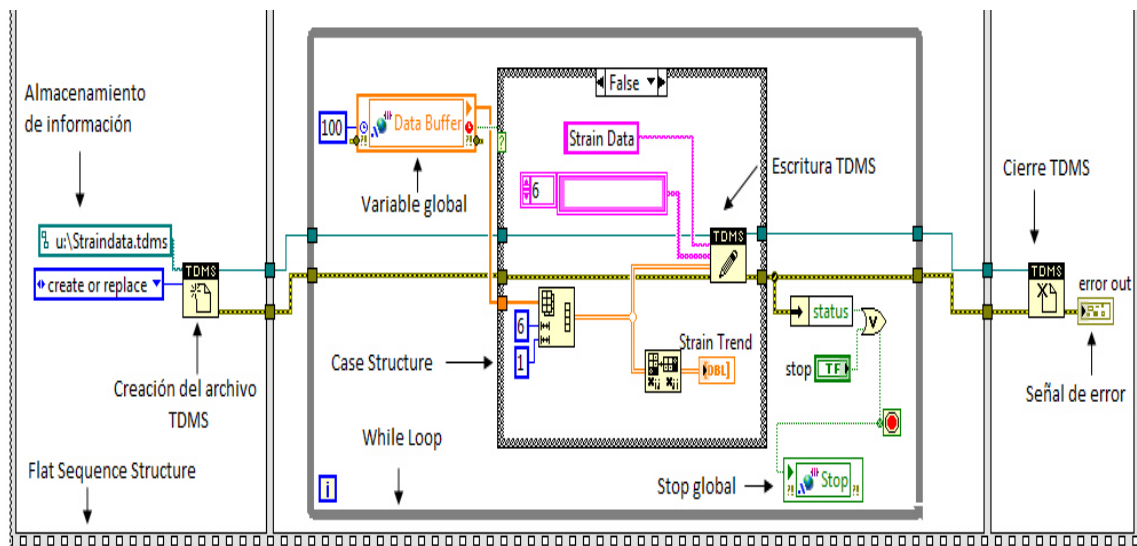


Figura 3.25 Descripción de las partes que integran la estructura de programación.

3.2.5 Fase 5: Realización de Pruebas de Campo.

Para la realización de las pruebas en campo se requirió de la definición de escenarios y condiciones de prueba. A causa de la limitante de que solo se podrían realizar las pruebas dentro de las instalaciones de la planta Navistar® Escobedo porque el camión no podía circular por las vialidades debido a que era un prototipo de prueba, solo se pudieron replicar algunos escenarios basados en las pruebas realizadas en Estados Unidos. En total se replicaron parcialmente dos de ellos. Los detalles de estos se detallan en el Anexo VIII.

3.3 Vehículo de Estudio.

La unidad muestra de este estudio es un camión LoneStar[®] modelo SFA 6x4, año 2008. Cuenta con un motor diesel Cummins de 475 caballos de fuerza, transmisión manual de 18 velocidades, suspensión frontal de muelles cónicos de hojas parabólicas con amortiguadores, suspensión trasera de aire, tipo tándem (doble eje) con amortiguadores. Utiliza un sistema de escape doble, configurado en forma vertical. El tipo de cabina que posee es una de tipo convencional.



Figura 3.26 Camión LoneStar[®] muestra de estudio.

EL camión pesa alrededor de 8,164.6 kg, tiene una altura de 2.56 m, un ancho de 2.41 m, y una largo de 7.44 m.

3.4 Proceso de Instrumentación.

En este apartado se detalla el proceso de instrumentación así como las técnicas empleadas para la adquisición de datos con el equipo diseñado, en función del problema planteado y de los objetivos establecidos.

3.4.1 Justificación de Puntos Críticos.

El proceso de instrumentación llevado a cabo se realizó en base a estudios efectuados en los campos de prueba de Navistar[®] en Estados Unidos en un vehículo similar. Para esto se llevó a cabo una investigación detallada de pruebas para seleccionar aquella en la que se utilizara un vehículo con

sistemas similares o iguales al camión disponible para pruebas en planta Escobedo. Los detalles de estas pruebas se describen en el Anexo IX.

3.4.2 Instrumentación

En la realización de esta prueba se utilizaron nueve sensores en total, seis acelerómetros uniaxiales y 2 galgas extensiométricas. Se seleccionaron estos sensores debido a que fueron los mismos empleados en las pruebas mencionadas anteriormente. Esto con la intención de corroborar que la información que se obtuvo con un equipo Somat era similar a la que se obtendría con el equipo diseñado de NI.

Para explicar dicho proceso, es primordial hablar inicialmente de la implementación de los sensores. Para esto se siguió la configuración preestablecida de las pruebas en donde se instalaron la totalidad de los acelerómetros en la estructura del radiador de la unidad. Se instaló una configuración triaxial en la parte superior derecha (1), una configuración biaxial para medición de aceleración en la orientación longitudinal y transversal en la parte inferior derecha (2), un sensor para medir la aceleración en la dirección longitudinal del camión en la parte inferior izquierda (3) y finalmente otro sensor en el sentido longitudinal en la parte superior izquierda (4). En total 7 acelerómetros.



Figura 3.27 Disposición de acelerómetros.

Todos los sensores fueron montados por medio de una base de aluminio especialmente diseñada para acelerómetros. Estas bases de aluminio están integradas por dos partes, el cubo donde se atornillan los sensores y una base a la que se atornilla dicho cubo. Es ésta última la que se adhiere directamente al vehículo por medio de un pegamento epóxico. En este caso se seleccionó uno de la marca Loctite, de la línea Fixmaster, serie 97434.

Los puntos claves que se deben de considerar a la hora de la instalación de estos sensores o de las bases en sí es que se debe de hacer una preparación de la superficie donde se va a instalar. Esto se logra eliminando cualquier tipo de imperfección de la superficie por medio de lijas de distintos calibres y limpiándolo de cualquier sustancia grasosa que impida la buena adherencia del pegamento.

Para la conexión de estos acelerómetros con el equipo de adquisición de datos se utilizaron conectores como los que se ilustran en la figura, unidos al cable de instrumentación que se especificó en el capítulo III.

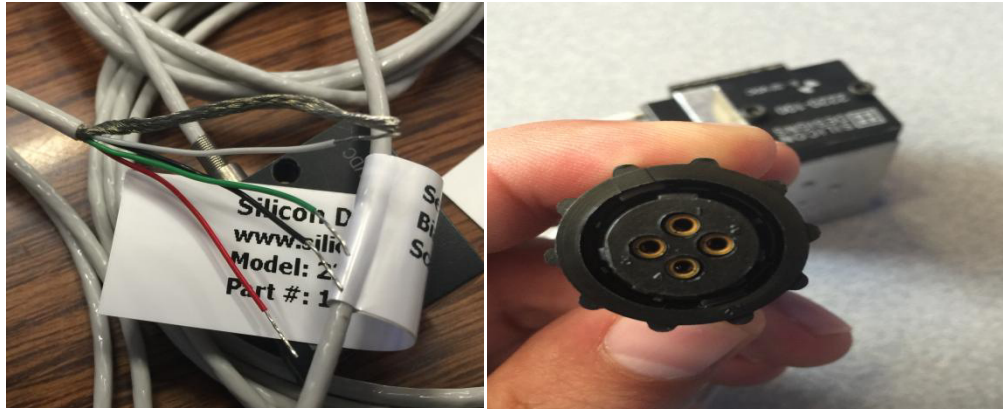


Figura 3.28 Conexión acelerómetros.

Como se puede apreciar están integrados por cuatro pines donde se conectan los cuatro cables del sensor de la siguiente manera: el cable de corriente (rojo) en el pin 1, el cable de tierra o masa (negro) al pin 2, el cable de señal positiva del sensor (verde) al pin 3 y el cable de señal negativo del sensor (blanco) en el pin 4. Esta configuración se determinó por conveniencia pero se puede utilizar cualquier otra, sólo es importante respetar la función de cada uno de los cables.

Los cables rojo y negro son para alimentación del sensor ya que este requiere un voltaje de entre 8 y 32 VCD para su funcionamiento, mismos que fueron suministrados por la fuente de poder seleccionada para este proyecto que de igual manera alimenta a las galgas extensiométricas, de las que se hablará más adelante, así como también al cRIO, los módulos utilizados y le puente de Wheatstone. Por otra parte los cables verde y blanco se utilizan para la transmisión del voltaje que emite el sensor. Se utilizan los dos cuando se quiere tener una conexión de tipo diferencial (DIFF). Esto es que se reciben dos señales similares de la misma medición del sensor, mismas que son comparadas entre sí para tener una mejor señal. Para esto y en caso específico de este proyecto, es necesario conectar cada uno de los cables a un canal diferente en el módulo NI 9205. Otro modo de conexión es el modo simple (RSE) en el que solo se conecta el cable de señal + al canal del módulo mientras que la señal - se conecta al común o puerto COM.

En el caso específico de la conexión con el módulo NI 9233, que es por medio de conectores BNC, el cable verde es el que va en la parte central del conector que se conecta por medio de un pin integrado, mientras que el cable blanco es el que va conectar en la parte externa o tierra del BNC.

Lo anterior hablando de acelerómetros. Para el caso de las galgas, los requerimientos de medición demandaban de la utilización de sensores de adquisición de datos de manera uniaxial y de ser instalados en la misma dirección de los vectores de la fuerza que se desea sensar, obtenidos por medio de análisis de elemento finito. En este caso se utilizaron dos galgas extensiométricas, una por cada uno de los “brackets” que sostienen el ducto de admisión, ubicados a los costados del motor en la parte superior, unidos al corta fuegos del camión.



Figura 3.29 Ubicación de soportes donde se instalaron las galga extensiométrica.

En esta parte es importante mencionar de manera detalla el proceso de instalación ya que es más complejo que el de los acelerómetros y debe de considerarse cuidados especiales.

El proceso para la instrumentación de una galga extensiométrica consiste en dos etapas: el cementado y la conexión. El cementado de la galga se realiza de la siguiente manera:

1. En primera instancia se reúnen los materiales a utilizar que son, básicamente: acetona, gasas, servilletas, hisopos, lija, una pieza de cristal de aproximadamente 8 x 4 cm, cinta plástica transparente, pinzas de uso médico para maniobra, adhesivos y solventes.

2. El primer paso es limpiar completamente todo lo que se vaya a utilizar con acetona y gasas con el fin de eliminar cualquier sustancia que pueda impedir la correcta adhesión de la galga.
3. En un pedazo de lija 120 se aplica acondicionador de metal y se lija la superficie donde se vaya a aplicar la galga esto con la intención de eliminar cualquier tipo de imperfección de la misma, así como materiales extraños. Se lija en una sola dirección y se limpian los residuos con servilletas.
4. Se repite el mismo proceso pero ahora con una lija de menor rugosidad como lo es una 220 pero en dirección contraria a la que se lijó con la de calibre 120. Y lo mismo se realiza con una lija 320 y luego una 400 hasta obtener una superficie completamente lisa y limpia.



Figura 3.30 Superficie del soporte lista para la instalación de la galga extensiométrica.

5. Se humedece un hisopo con el mismo acondicionador de metal, en este caso un acondicionador A M-PREP de la marca Micro-Measurements, y se frota sobre la superficie donde se vaya a montar la galga hasta que ésta quede libre de residuos.
6. Se humedece un hisopo con un neutralizador, 5A M-PREP de la misma marca, y se repite el proceso anterior. Esto debido a que el acondicionador es un ácido y se requiere de una superficie libre de cualquier sustancia química.
7. Se toma la pieza de cristal y se asegura que esté completamente limpia, se toma la galga por medio de las pinzas de uso médico sin tocarla con las manos para evitar contaminarla con sustancias extrañas

y se dispone en el cristal, se aplica un pedazo de cinta sobre la galga y el cristal, se despegas y con la galga adherida a la cinta se pega en el lugar a instrumentar. Posteriormente se levanta la cinta con cuidado y se aplica el adhesivo a la galga. Es necesario mezclar el adhesivo con un catalizador antes de su aplicación. Es muy importante aplicar una capa muy delgada de catalizador.

8. Se aplica una capa muy delgada de pegamento (M-BOND 200), aproximadamente una gota, y se instala la galga manteniendo presión con el pulgar por 1 minuto hasta que el pegamento haga su efecto.
9. Se retira la cinta transparente y se prepara la galga para su conexión.

El siguiente proceso para la instalación de la galga extensiométrica es la conexión y se realiza de la siguiente manera:

1. Se reúnen los materiales necesarios: cautín, soldadura de estaño, rosin M-FLUX, cableado, cinta plástica transparente, pinzas de corte para cables, multímetro y la protección para la galga.
2. Primeramente, se prepara el cable a utilizar eliminando la cubierta plástica de los mismos y estañando las terminales del cable. En este caso, se utilizan 3 cables, uno de alimentación (rojo), uno de tierra o masa (negro), y uno de retorno de señal de la galga (verde).
3. Posicionar los cables donde se vayan a soldar y asegurarlos con la cinta. Previo a esto es necesario instalar una pieza de cinta en la parte inferior del cable con la intención de que el mismo no esté en contacto directo con el material.
4. Se procede a soldar los cables en las terminales de las galgas. Se coloca el rojo sobre una terminal y el negro y verde sobre la otra terminal. La galga no tiene polaridad por lo que se pueden conectar en cualquiera de las terminales respetando el orden anterior.
5. Una vez que están correctamente soldados los cables se aplica un revestimiento de nitrilo de caucho; en este caso, un M-COAT B de la marca Micro-Measurements, para protección de la misma.
6. Finalmente, se revisa la continuidad de los cables por medio del uso de un multímetro. Debe arrojar una resistencia igual a la que posee la galga. En este caso 120 ohms.



Figura 3.31 Galgas extensiométricas instaladas.

El funcionamiento de las galgas requirió de la alimentación por medio de la fuente externa misma que se hizo pasar por el circuito de puente de Wheatstone, el cual también se utilizó para acondicionar la señal que enviaba el sensor. La galga se conectó de igual manera de modo simple en el módulo NI 9205.

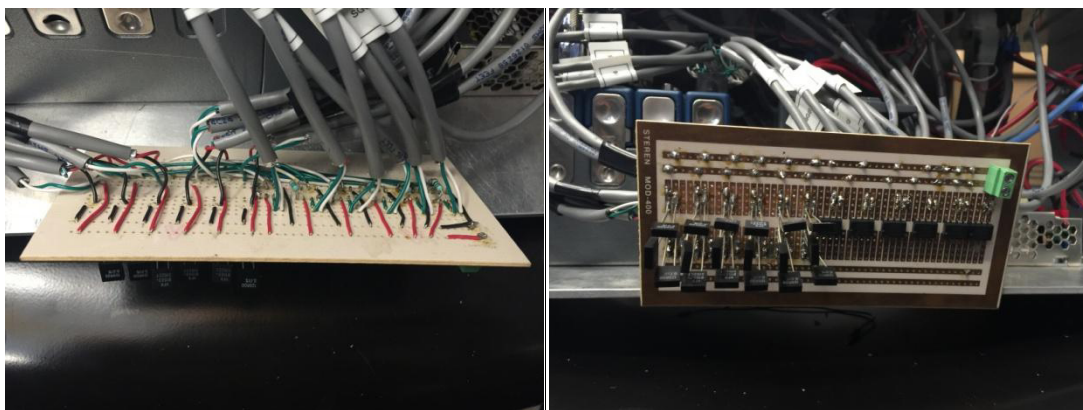


Figura 3.32 Circuito de puente de Wheatstone.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la planta de Navistar® en Escobedo, Nuevo León. Así como la interpretación y validación de los mismos. Para esto se realizó una comparación contra los datos obtenidos en las pruebas en Navistar® Estados Unidos en circunstancias similares.

4.1 Análisis e Interpretación.

Para el proceso de análisis de los datos es necesario comprender la información que se está recolectando ya que el equipo de adquisición de datos solo muestra voltajes por lo que es trabajo de usuario entender dichas mediciones de manera adecuada. Para este caso es importante hablar de cómo realizar dicha tarea.

Para el caso particular de los acelerómetros es relativamente sencillo entender las mediciones ya que el sensor indica la sensibilidad del mismo, una característica de todo acelerómetro, misma que por medio del cambio de voltaje indica los G's que son dimensionados. Por ejemplo, en el caso de los sensores seleccionados, la sensibilidad que poseen es de 40 mV/g, es decir que por cada 40 mV que incremente o decrezca el voltaje del sensor con respecto al estado estático inicial será equivalente a un G de medida.

En el caso de las galgas el proceso de interpretación de los resultados no es tan sencillo ya que se requiere realizar una conversión a deformación que varía dependiendo del tipo de galga. En este caso en particular se realizó una configuración de cuatro de puente de Wheatstone para lo cual, como ya se había mencionado con anterioridad, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{V_o}{V_{ex}} = - \frac{GF * \epsilon}{4} \left(\frac{1}{1 + GF * \frac{\epsilon}{2}} \right) \quad (2)$$

Donde:

V_o : Voltaje de salida del puente.

V_{EX} : Voltaje de excitación.

GF : Factor de Galga.

ϵ : Deformación.

Lo que se pretende encontrar con la utilización de la galga extensiométrica es la deformación (ϵ). Para este caso el voltaje de salida del puente (V_o) será aquel que arroje la galga una vez que realice una medición, mismo que será dimensionado por el módulo de adquisición de datos. El voltaje de excitación (V_{EX}) es el suministrado por la fuente de poder que fue de alrededor de 10 V. Finalmente, el factor de galga depende del caso particular de cada galga utilizada. Para la galga extensiométrica seleccionada el factor que especifica el fabricante es de $2.085 \pm 0.5\%$ a una temperatura de funcionamiento de 24°C . Por lo anterior, se puede observar que es factible realizar mediciones de deformación con la información que se conoce y se puede recolectar.

4.2 Validación.

Para el proceso de validación de los resultados obtenidos se realizó una comparación gráfica con los datos recolectados previamente por la empresa. Se eligieron solo una muestra representativa de los para efectos ilustrativos prácticos. Todos los datos se muestran en el Anexo X. Para comprender esta información es importante detallar, para una comprensión adecuada, la definición de localización y numeración de cada uno de los sensores para lo cual se anexa la siguiente tabla.

<i>Número</i>	<i>Tipo de sensor</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Medición</i>
01	Acelerómetro	Parte superior del radiador, lado del acompañante	Aceleración longitudinal
02	Acelerómetro	Parte superior del radiador, lado del acompañante	Aceleración vertical
03	Acelerómetro	Parte superior del radiador, lado del acompañante	Aceleración transversal
04	Acelerómetro	Parte inferior del radiador, lado del acompañante	Aceleración longitudinal
05	Acelerómetro	Parte inferior del radiador, lado del acompañante	Aceleración transversal
06	Acelerómetro	Parte inferior del radiador, lado del conductor	Aceleración longitudinal
07	Acelerómetro	Parte superior del radiador, lado del conductor	Aceleración longitudinal
08	Galga extensiométrica	Soporte del ducto de admisión, lado conductor	Deformación concentrada
09	Galga extensiométrica	Soporte del ducto de admisión, lado acompañante	Deformación concentrada

Tabla 4.1 Utilización de sensores en la prueba.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

Se puede observar en los resultados obtenidos con el equipo de adquisición de datos desarrollado y las técnicas de instrumentación y prueba utilizados, que se logró obtener un equipo capaz de dimensionar parámetros dinámicos a los que es sometido un vehículo de transporte en ruta y que es comparable con equipos de mayor capacidad de procesamiento. Se pueden denotar ciertas diferencias mínimas en los datos, de 0.5 G's en acelerómetros aproximadamente y de alrededor de 100 $\mu\epsilon$ en galgas extensiométricas. Diferencias que son razonables debido a que no se utilizó exactamente el mismo vehículo que el de referencia y las condiciones de las pistas de pruebas eran diferentes. Por tal motivo se asumen como aceptables las desviaciones que se pueden apreciar.

En conclusión, se puede afirmar que se cumplieron los objetivos perseguidos. Se logró la realización de un marco teórico y técnico basado en información actual de todo lo relevante al proceso de recolección de datos en ruta. Se detalló el procedimiento para la definición del vehículo a instrumentar así como de los puntos y mediciones de interés. De la misma manera se realizó un estudio de los equipos de adquisición de datos que se ofrecen actualmente para seleccionar uno de base para el desarrollo de este proyecto. Se determinaron todos los materiales adecuados para utilizar en conjunto con el equipo de adquisición de datos. En resumen se logró cumplir con el objetivo más importante que era el de desarrollar y validar un equipo de adquisición de datos en ruta que pudiera ser implementado en vehículos de transporte. Así mismo, se cumplió con la hipótesis de que por medio de la realización de un equipo prototipo para la recolección de datos se puede brindar las herramientas para generalizar y estandarizar esta actividad a nivel de investigación, desarrollo e implementación. Para lo anterior queda detallada en esta investigación una amplia variedad de información que sirve como base para futuras investigaciones y para posibles mejoras que se pudieran aplicar.

Por último, vale la pena señalar que la tarea de recolección de datos es una actividad demasiado extensa para poderse abordar por completo en un trabajo de investigación por sí solo, aunado a que al utilizar tecnología en la aplicación es difícil permanecer estático en cuanto al cúmulo de conocimiento existente. Por tal motivo es de vital importancia que se desarrollen sistemas

robustos para acaparar la mayor cantidad de recursos y cumplir con las necesidades del proyecto.

5.2 Recomendaciones.

Tomando en cuenta toda la información consultada y la experiencia adquirida con la realización de este proyecto se pueden mencionar algunas recomendaciones que son importantes tener en cuenta.

- Es altamente aconsejable que se trabaje desde etapas tempranas en el proceso de instrumentación y pruebas de recolección de datos ya que las mayores complicaciones salen a la luz cuando se están realizando dichos procesos. Esto debido a que algunos aspectos no se contemplan estando en el laboratorio.
- Si se tiene la posibilidad, seleccionar equipo especializado para cada tipo de medición que se desee realizar. En el caso de National Instruments existen una gran cantidad de módulos y sistemas de recolección de datos. Elegir el adecuado ahorrará tiempo valioso a la hora de configurar y programar el proceso de recolección de datos.
- Es muy importante tener en cuenta desde un principio la tasa de muestreo así como los filtros a utilizar ya que en algunos casos esto definirá el tipo de programación así como los equipos a implementar. Esto es, en el caso de NI, definir si se utilizarán todos los recursos disponibles por medio de una programación en FPGA o solo algunos de ellos con programación únicamente en “Real-Time”.
- Es necesario considerar algunos detalles que muchas veces se toman como insignificantes pero que en realidad no lo son. Tal es el caso del ruido externo que se mezcla con las señales recolectadas. La resistencia que se presenta cuando el cableado que se utiliza es de longitudes considerablemente largas. La caída de voltaje que se tiene al alimentar el puente de Wheatstone. El impacto del voltaje de alimentación en el incremento de temperatura de las galgas, entre muchas cosas más.
- Tener el cuidado adecuado (ej. En el sementado de las galgas extensiométricas) y tomarse el tiempo necesario en el proceso de instrumentación es de suma importancia ya que de esto dependerá que tan bien se realizan las mediciones, así como también la cantidad de recursos que se consuman

5.3 Trabajos Futuros.

Producto de la realización de este trabajo de investigación se pueden desprender una serie importante de estudios relevantes, con diferentes enfoques y áreas de interés. Algunos de los que se consideran más importantes se detallan a continuación.

- Configuración de la estructura de recolección de datos por medio del protocolo de comunicación CAN.

El proceso para la recolección de datos vía CAN, en el caso particular del trabajo con equipos de NI, es una tarea ardua debido a que como todo es completamente configurable no existe una estructura única de programación. Aunado a esto, cada caso de investigación requiere de variables de estudio específicas. Además se requiere de la alimentación de la base de datos para que el software sea capaz de interpretar la información que se obtiene de la estructura de los mensajes CAN. De manera particular, se requiere de todo un trabajo de investigación para conocer tanto la estructura de CAN como de la información relevante de las normas de comunicación de la SAE para el envío de datos por medio del bus CAN.

- Implementación de sistema de comunicación vía inalámbrica.

Hoy en día, la comunicación vía inalámbrica es una herramienta cotidiana que se emplea en la transmisión de datos. El tener la capacidad de realizar una recolección de datos sin conexiones físicas beneficiaría al proyecto debido a que se evitaría contar con un equipo de cómputo dentro del camión para administrar las actividades de recolección de datos. Ya que podría establecer comunicación por medio de una estación de trabajo independiente con mayores recursos de procesamiento y menos consumo de tiempo al eliminar la necesidad de estar dentro del camión para administrar el funcionamiento del equipo. Para esta parte se requiere de la implementación de sistema de transmisión inalámbrica, configuración del sistema de recolección de datos para trabajar de manera autónoma, configuración de un “trigger”, entre otras cosas.

- Utilización de mayor cantidad de sensores para mejor conocimiento de las variables de interés del vehículo.

Existen una gran variedad de sensores que se pueden utilizar en la recolección de datos de ruta de un vehículo. Los más importantes para el enriquecimiento de este proyecto y con base en los recursos con los que se cuentan, sería los LVDT, celdas de carga y GPS. Con éstos se podrían conocer

muchos parámetros de interés que propiciarían una mejor comprensión del comportamiento del vehículo. Para esto se requeriría de una investigación y documentación del funcionamiento de los mismo, adaptación al sistema de recolección y programación del software, así como de los puntos de instrumentación.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Alunni, J. L. (2014). *"Tema 3: Definición de Ingeniería"*. Cátedra: Fundamentos de Ingeniería. Pp. 1-9.
- [2] Barickman, Frank S (1998). *"Intelligent Data Acquisition for Intelligent Transportation Research."* SAE Technical Paper Series. 01 de febrero de 1998.
- [3] Bowman, Darrell, and William Schaudt (2011). *"FMCSA's Advanced System Testing Utilizing a Data Acquisition System on the Highway."* SAE Technical Paper Series. 13 de septiembre de 2011.
- [4] Burr-Brown Corporation (1998). "Presicion Intrumentation Amplifier". INA 114. Texas Instruments. Estados Unidos de América, marzo de 1998.
- [5] CAESAR DataSystems, Inc. (2014). *"World class testing technology road load data acquisition"*. RS Technologies. Pp. 1-12.
- [6] Cidaut (2012). *"Teoría de Sensores"*. Fundación para la investigación y desarrollo en transporte y energía. Master de automoción. Valladolid, España. Pp. 1-37.
- [7] Coleri, S., Sangiovanni-Vicentelli, A., Sun, X., Tebano, R., Alalusi, S., Audisio, G., Sabatini, M. (2009). *"The Tire as an Intelligent Sensor"*. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol. 28, No. 7, Julio 2009. Pp. 941-955.
- [8] Dally, James W., William F. Riley, McConnell, K. G. (1984) *"Instrumentation for Engineering Measurements"*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [9] Dally, James W., William F. Riley. (1991) *"Strain-Measurement Methods and Related Instrumentation"*. Experimental Stress Analysis. 3ra ed. New York: McGraw-Hill,. 638.
- [10] Di Paolo Emilio, M. *"Data Acquisition systems: From Fundamentals to applied Design"*. Ed. Springer Science, New York, NY, 2013. pp. 1-10
- [11] Escobar, N. (2000). *"La Innovación Tecnológica"*. MEDISAN 2000;4(4):3-4.

- [12] Feng, Tao, Qing Li, Guorong Ren, Hongyang Wang, Fenhua Wang, Weicun Zhang, Bin Yang, and Jun Wu (2013). *"The Implementation of Distributed High-speed High-accuracy Data Acquisition System Based on EtherCAT."* Scopus: 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA).
- [13] Fraile, J. y García, P. (1995) *"Instrumentación aplicada a la ingeniería"*. Servicio de publicaciones de la ETS de I. de Caminos, Canales y Puertos.
- [14] Han, C. H. (1998). *"MEMS accelerometers for air bag deployment for automobile"*. EE626, Spring, 98. 02 de marzo de 1998.
- [15] Herrera, A., Corés, Á., Aguilera, Luz (2008). *"Los Microacelerómetros en la Actualidad"*. Universidad de Guanajuato. Dirección de administración y posgrado. Vol 18. No. 2 Mayo-Agosto 2008. Pp. 1-32.
- [16] Idrovo Urgiles, P. X.; Quintanilla Molina, L. M. (2010). *"Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas"*. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Facultad de Ingeniería. Cuenca, Junio de 2010.
- [17] International (2015). International Trucks. Historia y Filosofía. Consultado el 15 de enero de 2015, en <<http://www.internationaltrucks.com/mexico/historiayfilosofia/>>.
- [18] Jiannong, Wang, and Wang Wei (2011). *"The Common Data Acquisition System Based on Arm9."* IEEE: 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments.
- [19] Kungl, Peter, Markus Schlenker, Dirk-Alexander Wimmer, and Bernd Helmut Kröplin (2004). *"Instrumentation of Remote Controlled Airship "Lotte" for In-flight Measurements."* Aerospace Science and Technology: 599-610. 5 de agosto de 2004.
- [20] Lei, Guo, Song Ying, and Li Yun (2011). *"Design and Development of Monitoring and Data Acquisition System of PDA-Based GPS Receiver."* IEEE: 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing.

- [21] Li, S., Jiarong R. Luo, Yichun C. Wu, Guiming M. Li, Feng Wang, and Yong Wang (2010). *"Continuous and Real-Time Data Acquisition Embedded System for EAST."* IEEE Trans. Nucl. Sci. IEEE Transactions on Nuclear Science: 696-99.
- [22] Loureiro, F. M., Martins, V. M. G., Clemêncio, F. M. C., Correia, C. M. B. A. (2005). *"A Fundamental Data Acquisition Saving Block."* IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 2005.
- [23] Merriam-Western (2014). *"Efficiency"*. Consultado el 18 de noviembre de 2014, en <<http://www.merriam-webster.com/dictionary/efficiency>>
- [24] Mitsch, Marcus (2012). *"Road Load Data Acquisition at MAGNA STEYR."* Scopus: IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. Print.
- [25] Morris, A. Langari, R. *"Measurement and Instrumentation"*, Ed. Butterworth-Heinemann, Berkeley, CA, 2011. Pp. 245-640.
- [26] Murphey, Yi L., Dev Kochhar, Fang Chen, Yinghao Huang, and Yong Wang (2013). *"A Transportable Instrumentation Package for In-Vehicle On-Road Data Collection for Driver Research."* SAE Technical Paper Series. 8 de abril de 2013.
- [27] Navistar (2014). Navistar. Consultado el 7 de julio de 2014, en <<http://www.navistar.com/navistar/>>
- [28] Nirubama, M. (2014). *"Data acquisition system based on CAN bus and ARM."* Scopus: Middle-East Journal of Scientific Research. IDOSI Publications, 2014.
- [29] Park, Sooncheol, Wonwook Jung, Chunwoo Shin, and Jaewung (2014). *"A Study on an Integrated System to Measure and Analyze Customer Vehicle Usage Monitoring through a Smartphone."* SAE Technical Paper Series. 1 de abril de 2014.
- [30] PCB Piezotronics (s. f). *PCB® Series 5400 Multi-Axis Wheel Force Transducer.* For Automotive Road Load Data Measurement Applications. Consultado el 1 de Julio de 2014, en <<http://www.pcb.com/LoadandTorque/WheelForceTransducers>>

- [31] PCB Piezotronics Div.(2011). "*Sensors for Road Load Measurements*". *Automotive Sensors*, 8 pág. Consultado el 6 de Julio de 2014, en <http://www.pcb.com/linked_documents/automotivesensors/auto_rlda_lo wres.pdf>
- [32] PIIT Monterrey. (2014). Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología. Consultado el 8 de Julio de 2014, en <<http://www.piit.com.mx/parque/default.aspx?p=acercade>>
- [33] Qiang, Song, and Lv Chenguang (2012). "*Data Acquisition System for Electric Vehicle's Driving Motor Test Bench Based on VC*." *Physics Procedia*: 1725-731.
- [34] Rajesh R., Gridsada P., Lee A., (2013). "*Instrumentation of Navistar Truck for Data Collection*". Department of Mechanical Engineering. University of Minnesota. Enero, 2013. Pp. 1-34.
- [35] Raza, Usman, Alessandro Camerra, Amy L. Murphy, Themis Palpanas, and Gian Pietro Picco (2012). "*What Does Model-driven Data Acquisition Really Achieve in Wireless Sensor Networks?*" IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications.
- [36] Santalucia, J. R.; Gargiulo, E (2006). "*Transductor de Aceleración para la Detección de Sismos Fuertes*". Instituto de Investigaciones Antisísmicas (IDIA) – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de San Juan. Montevideo, Argentina. 29 de septiembre de 2006. ISBN: 9974-0-0337-7.
- [37] Schudt, Joseph A., Rajanagaprasad Kodali, Manish Shah, and Glenn Babiak (2011). "*Virtual Road Load Data Acquisition in Practice at General Motors*." SAE Technical Paper Series. 12 de abril de 2011.
- [38] Shiqi, Fan, and Hu Siping (2013). "*Real-Time Acquisition System of Wireless Sensor Networks*." Scopus: International Conference on Computational and Information Sciences.
- [39] Sosa, Javier (Sin fecha). "Galgas Extensiométricas." *Strain Gages* 1. Web. Consultado el 3 marzo de 2015 en: <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/Strain_Gages _1.pdf>.

- [40] Stallmann, M. Joachim, P. Schalk Els, and Carl M. Bekker (2014). *"Parameterization and Modelling of Large Off-road Tyres for Ride Analyses: Part 1 – Obtaining Parameterization Data."* Journal of Terramechanics: 73-84. 28 junio 2014.
- [41] Stallmann, M. Joachim, and P. Schalk Els (2014). *"Parameterization and Modelling of Large Off-road Tyres for Ride Analyses: Part 2 – Parameterization and Validation of Tyre Models."* Journal of Terramechanics: 85-94. 28 junio 2014.
- [42] Tholeti, Ram Kiran, Shyamsundar Kumbhar, Nainish Kumar B, and R. Govindarajan (2014). *"Structural Evaluation Technique Based on RWUP for Scooter Using RLDA."* Scopus: SAE Technical Paper Series. 01 de abril de 2014.
- [43] Tseng, Chwan-Lu, Joe-Air Jiang, Ren-Guey Lee, Fu-Ming Lu, Cheng-Shiou Ouyang, Yih-Shaing Chen, and Chih-Hsiang Chang (2006). *"Feasibility Study on Application of GSM–SMS Technology to Field Data Acquisition."* Computers and Electronics in Agriculture: 45-59. 29 de marzo de 2006.
- [44] Vishay Measurements Group, Inc (s. f). *"Introduction to strain gage technology"*. Vishay Measurements Group Educational Program for Strain Gage Technology. Pp. 1-45.
- [45] Vishay Precision Group (2010). *"Precision Strain Gages"*. Micro-Measurement. Documento número 11503 y 11504. 28 de enero de 2010. Pp. 5-9.
- [46] Wang, Er Lie, Hui Yan Chen, Gang Tao, and Yu Hui Hu (2012). *"Study on Data Acquisition for Heavy Off-Road Vehicle AT Testing."* Scopus: AMM Applied Mechanics and Materials: 765-69.
- [47] Wang, Yinfeng, Cho-Li Wang, Jian-Nong Cao, and Alvin Chan (2010). *"Optimizing Data Acquisition by Sensor-channel Co-allocation in Wireless Sensor Networks."* Scopus: International Conference on High Performance Computing.
- [48] Wang, Zheng Zhong, Youzhong Xu, Kuaichu Fan, and Binglin Da (2014). *"Road Load Data Application in Solving a Crack Problem of the A/C Pipe Fixed on the Vehicle Engine."* Scopus: SAE Technical Paper Series. 01 de abril de 2014.

- [49] Zhang, Qi, Lu Dai, and Xiong Chen (2014). *"A Real-Time Data Acquisition Analysis Control System Based on Embedded System with Gigabit Ethernet."* Scopus: Sens Lett Sensor Letters: 224-29. 01 de febrero de 2014.
- [50] 5Hz Electrónica (2014). *"ABC Del Acelerómetro."* 5Hertz Tutoriales. Consultado el 8 de enero de 2015 en: <<http://5hertz.com/tutoriales/?p=228>>.

ANEXO I

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Reseña Histórica.

La historia de la empresa Navistar® se remonta a 1986 cuando se dio la transición de International® Harvester a Navistar®. International® Harvester nació con la fusión McCormick Harvesting Machine Company y Deering Harvester Company en 1902, en la ciudad de Chicago, Illinois, que en los próximos tres cuartos partes de siglo evolucionó para convertirse en un fabricante diversificado de equipos agrícolas, equipos de construcción, turbinas de gas, camiones, autobuses y componentes relacionados. Durante la Segunda Guerra Mundial, International® Harvester produjo la serie M de camiones militares que sirvieron a la Infantería de Marina y la Armada de EE.UU. como portadores de armas, transportistas de carga y para el traslado de la luz de artillería. Hoy en día, Navistar® produce vehículos de marca militares internacionales a través de su filial de Navistar® Defense.

La empresa cuenta con una larga historia y un alto grado de innovación en sus productos en los cuales incluye el esfuerzo pionero por la reducción de emisiones contaminantes al medioambiente. Algunos de los hitos sostenibles que ha desarrollado la empresa son:

- Primer fabricante de motores en Norteamérica en lanzar un motor diesel sin emisión de humo.
- Trabajar con la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos para reducir el contenido de sulfuro en el combustible diesel.
- Es la primera empresa manufacturera de camiones y motores certificado por la EPA, desde 2007, en los estándares de partículas de hidrocarburos.

Adicionalmente, se ha trabajado en temas como la aerodinámica en los camiones, contando con el título el camión de clase 8 más aerodinámico jamás construido, el International® ProStar®. Esto ha contribuido no solo en brindar el título de una empresa líder en el rubro sino que también al desempeño de sus productos con un alto grado de eficiencia en el consumo de combustible en los caminos. Dentro de la sustentabilidad de la empresa se encuentra impreso el concepto de cuidado al medio ambiente desde el diseño de sus productos hasta el cuidado de las operaciones en las fábricas en dónde también son líderes.

Particularmente, Navistar® en México se desempeña como una corporación líder de tecnologías y servicios para sector autotransporte. Cuenta con tres unidades de negocio: Planta, Refacciones y Financiera, así como un red de 19 distribuidores con más 86 puntos de venta a lo largo de la República Mexicana. Su planta de Escobedo en Nuevo León es la de mayor producción de Navistar® en todo el mundo, fabricando en promedio 50 mil unidades al año.

Presentes en México desde 1926 como socio tecnológico en diferentes facetas, aparece oficialmente en el país en 1996 comercializando sus productos directamente y anunciando la construcción de su planta de Ensamble en Nuevo León. Esta ensambladora es, hoy por hoy, la más moderna de tractocamiones, medianos, ligeros y chasises para autobuses de América.

La planta Escobedo se inauguró el 22 de abril de 1998. Cuenta con tecnología de punta y la infraestructura necesaria para llevar a cabo un proceso de manufactura eficiente con los más altos estándares de calidad. Planta Escobedo, exporta poco más del 80% de su producción a más de 15 países incluyendo Estados Unidos, Canadá, Centro y Sudamérica, Sudáfrica, Australia, Emiratos Árabes, Túnez e India, entre otros.

En 1999, Navistar® Financial, brazo financiero de International® inicia sus operaciones. En ese mismo año, abre sus puertas el más grande Centro de Distribución de partes en México, el PDC por sus siglas en inglés de International®, ubicado estratégicamente en Querétaro, centro geográfico del país.

Posteriormente, presenta los primeros camiones de alto rendimiento, con motor International® DT 530 y DT 466. Alcanzando a partir de esa fecha el primer lugar en ventas de camiones medianos, Serie 4000, hoy en día los camiones de la gama DuraStar®. Adicionalmente, International® trae la producción de la Serie 7000 (WorkStar®) a Planta Escobedo.

En 2005, Planta Escobedo obtuvo el Premio Nuevo León a la calidad, máximo reconocimiento nacional por producción con los más altos estándares de calidad.

En septiembre de 2006, International® Planta Escobedo celebró en grande la producción de la unidad 150,000, cifra récord en la industria en 8 años de producción, teniendo como invitado de honor al entonces Presidente de la República, Lic. Vicente Fox Quesada y al Gobernador del Estado de Nuevo León, José Natividad González Parás.

International® en menos de 20 años de historia en México ha logrado romper el récord de producción de unidades. Adicionalmente cuenta con el tractocamión más equipado, con mayor tecnología y el más aerodinámico, el Prostar®. Así como la gama más amplia de camiones de rango medio, severos y ligeros, autobuses urbanos y suburbanos, desarrollando cada día nuevos y mejores productos para los clientes más exigentes, ofreciendo constantemente nuevos servicios, más integrales y acordes a la necesidad de cada región, de cada cliente.

A lo largo de su historia, Navistar® México a través de su marca International®, ha presentado diversos cambios, además de una renovación tecnológica, una nueva generación, la modernización de sus camiones, autobuses y motores, el apoyo al medio ambiente y una garantía de calidad en productos con distinción; esto aunado a los más de 85 puntos de atención y venta, conforman una marca sólida, poniendo a International® siempre a la vanguardia.

En 15 años International® ha producido más de 370,000 unidades en México.

Filosofía de la Empresa.

Innovación.

Durante años, hemos sido la fuerza impulsora de la innovación en nuevos procesos de trabajo, ya sea que estén dentro del desarrollo de nuestra categoría de definición de vehículos o en nuestro enfoque de salud y seguridad.

Creemos que las prácticas progresistas incentivan el progreso. Y para nosotros, el desarrollo de productos es mucho más que lo que sale de la línea de montaje. También involucra la salud y seguridad de nuestros clientes. Y el impacto potencial de nuestros productos en el medio ambiente - ahora y en el futuro.

Esta filosofía ha ayudado a establecer las bases de algunas de las prácticas de negocio y procesos en nuestra industria con más visión de futuro. Y se ha convertido en la base para nuestro programa formal de administración de productos.

Emisiones.

Navistar® fue el pionero impulsor del motor diesel sin humo en América del Norte en 1989. Y no ha dejado de innovar desde entonces.

Estamos orgullosos de decir que somos líderes en el mundo en la entrega de tecnologías de reducción de carbono. Desde nuestro gas natural comprimido International® DuraStar® y WorkStar® y nuestra solución de gas natural líquido bajo desarrollo, estamos entregando nuevas soluciones, ecológicamente racionales - y una unidad con la que puedes contar.

Gas Natural.

¿Podemos encontrar una manera de alimentar nuestros camiones con suministro de gas natural de bajo costo de Estados Unidos? Nosotros creemos que sí.

De hecho, creemos que el suministro americano de combustión limpia, el gas natural de bajo costo es una respuesta muy convincente para reducir nuestra dependencia del petróleo de la OPEC. Tanto es así que nos hemos asociado con “Clean Energy”, en un esfuerzo para eliminar las barreras que impiden a las flotas de transporte comercial que se aprovechen del valor del gas natural de un siglo. Y cuando llegue el momento, tenemos la intención de ser el líder en la entrega de los vehículos que utilizan este combustible abundante.

Manufactura.

No es sólo lo que construimos lo que impulsa la innovación, es también cómo lo construimos. Y eso está ayudando a redefinir la excelencia de fabricación.

Si se trata de encontrar nuevas formas de mejorar la sostenibilidad en nuestros procesos de fabricación o nuestra activa promoción de instalaciones saludables y seguras, el mismo ingenio que impulsa lo que ofrecemos también impulsa cómo lo entregamos.

LÍDER DE LA INDUSTRIA EN SEGURIDAD

De 1999 a 2010, los empleados de Navistar® redujeron su tasa de lesiones en el puesto de trabajo en casi un 82 por ciento, y en Huntsville, Alabama., alcanzaron un hito sin precedentes. Esta planta de motores superó cuatro años y 3 millones de horas de trabajo consecutivos sin accidentes que involucraran tiempo perdido.

COMPROMETIDOS CON LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Hemos estado ayudando a aprovechar el ingenio de América por décadas. Y creemos que existe una gran cantidad de él - especialmente cuando se trata de sostenibilidad. Desde alimentar la independencia energética con gas natural a la ecologización de las carreteras del país con camiones de baja

emisión, hemos sido capaces de poner en práctica la sostenibilidad. Y eso no sólo ayuda a nuestra línea de fondo y de la industria. Esto ayuda a nuestra nación.

Visión de la Empresa.

En Navistar® creemos que el mundo es propulsado por las nuevas ideas, valientes inventores y pensadores audaces. Es por eso que estamos comprometidos a ofrecer a nuestros clientes lo mejor cada día. Encontramos nuevas maneras de ayudar a los trabajadores americanos a realizar ese esfuerzo extra. Somos pioneros en tecnologías de combustión más limpias. Y utilizamos las últimas innovaciones para proteger a nuestras tropas, por lo que cabalgamos con mayor seguridad en conflicto y de vuelta a casa. Empujar nuestra industria es más que nuestra pasión. Es nuestra intención de entrega.

Infraestructura.

Actualmente, la empresa Navistar® esta diversificada a través de todo el mundo con fábricas en 6 continentes en países como Canadá, México, Brasil, Argentina, Egipto, Qatar, Rusia, Australia, China y por supuesto Estados Unidos. Hoy en día, se trabaja en diversas divisiones de manufactura tales como camiones de carga, autobuses escolares, vehículos de defensa y motores.

En México, la compañía cuenta con sedes en la Ciudad de México, en donde además de la manufactura de sus productos ofrece servicios de seguro y financiamiento para los clientes a través de Navistar® Financial México. En Guadalajara, Jalisco cuenta con oficinas de venta de productos para todo el país. En Santa Rosa Jáuregui, Querétaro está establecido un centro de distribución de partes donde se venden camiones, autobuses y partes para motores a nivel nacional. Finalmente, en Escobedo, N. L. se cuenta con una planta de ensamble. La planta de fabricación en Escobedo, produce los camiones Clase 8, o vehículos "pesados", como el International® ProStar®, así como camiones de peso mediano, clase 6-7, vehículos destinados a la exportación y el uso en México.

Adicionalmente, en el estado de Nuevo León cuenta con un centro de ingeniería en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica, el cual está ubicado en el Kilómetro 10 de la nueva autopista al aeropuerto Mariano Escobedo. El PIIT es un parque tecnológico y científico de cuarta generación

basado en el modelo de triple hélice, el cual es una alianza entre gobierno, universidades e iniciativa privada para buscar el crecimiento económico vía la innovación.

Productos y Servicios.

Navistar® de manera internacional es reconocido como un fabricante líder de camiones comerciales, autobuses, vehículos de defensa y motores.

Camiones.

Navistar® ofrece uno de los principales y más confiables marcas de camiones del mundo: International® Trucks.

Autobuses.

Como subsidiaria de propiedad total de Navistar®, Inc. IC Bus, LLC es el fabricante integrado más grande de la nación de autobuses comerciales escolares.

Vehículos de Defensa.

Navistar® Defense ofrece una portafolio completo de vehículos, motores diesel y soluciones de soporte de ciclo de vida para proteger a nuestras tropas en cualquier lugar.

Motores Diesel.

Los motores diesel MaxxForce manufacturados por Navistar® impulsa una de las industrias más robustas y demandantes para aplicaciones alrededor del mundo.

ANEXO II

ANÁLISIS DE GARANTÍAS EN CAMIONES PROSTAR® EN MÉXICO PERIODO 2000-2015.

ANEXO III

TABLA DE SELECCIÓN DE LA SERIE ESTÁNDAR DE UNA GALGA EXTENSIOMÉTRICA.

Serie	Descripción y Aplicación	Rango de Temperatura	Rango de Deformación	Vida de Fatiga	
				Nivel de deformación en $\mu\epsilon$	Número de ciclos
EA	Lámina constantan en combinación con un duro, respaldo de poliamida flexible. Amplia gama de opciones disponible. Principalmente indicado para uso general análisis de tensión estática y dinámica. No recomendado para transductores de precisión más altos	Normal: -100 ° a +350 °F	±3% para galga de longitudes menores a 1/8" [3,2 mm] ±5% para 1/8" y más	±1800	10 ⁵
		[-75 ° a +175 °C]		±1500	10 ⁶
		Especial:		±1200	10 ⁸
		-320 ° a +400 °F			
		[-195 ° a +205 °C]			
CEA	Uso general universal. Rejilla constantan completamente encapsulado en poliamida, con grandes pestañas de cobre recubiertos, escarpadas. Se utiliza principalmente para el análisis de tensión estática y dinámica de propósito general.	Normal: -100° a +350° F [-75° a +175°C]	±3% para galga de longitudes menores a 1/8" [3,2 mm] ±5% para 1/8" y más	±1500	10 ⁵
				±1500	10 ^{6*}
		Rosetas apiladas limitados a + 150° F [65°C]		* La duración de la fatiga mejora usando soldadura de bajo módulo.	
C2A	Uso general para análisis de tensión. Se suministra con cables prefijado para la conexión directa a la instrumentación	-60° a +180°F [-50° a +80°C]	±3%	±1700 ±1500	10 ⁵ 10 ⁶
L2A	Uso general para análisis de tensión. Se suministra con cintas de alambre de plomo prefijado.	-100° a +250°F [-75° a +120°C]	±3%	±1700 ±1500	10 ⁵ 10 ⁶
N2A	Galgas de cara abierta de trama pelicular constantan con un laminado delgado y una película de poliamida de base. Principalmente se recomienda su uso en transductores de precisión, la serie N2A se caracteriza por un rendimiento a la fluencia bajo y repetible. También se recomienda para aplicaciones de análisis de estrés que emplean patrones de gran calibre, donde la	Estático normal: -100° a +200°F [-75° a +95°C]	±3%	±1700 ±1500	10 ⁶ 10 ⁷

	matriz especialmente plana facilita la instalación de la galga.				
WA	Galga constantan totalmente encapsulada con cables conductores de alta resistencia. Útil en rangos de temperatura más altos y en ambientes más extremos que los de la serie EA. La opción W disponible en algunos patrones, pero restringe la vida a fatiga en cierta medida.	Normal: -100° a $+400^{\circ}$ F [-75° a $+205^{\circ}$ C] Especial: -320° a $+500^{\circ}$ F [-195° a $+260^{\circ}$ C]	$\pm 2\%$	± 2000 ± 1800 ± 1500	10^5 10^6 10^7
SA	Galga constantan totalmente encapsulada con puntos de soldadura. Misma matriz que la serie WA. Los mismos usos que la serie WA pero desclasificación un poco para temperatura máxima y el entorno operativo, debido a los puntos de soldadura.	Normal: -100° a $+400^{\circ}$ F [-75° a $+205^{\circ}$ C] Especial: -320° a $+450^{\circ}$ F [-195° a $+230^{\circ}$ C]	$\pm 2\%$	± 1800 ± 1500	10^6 10^7
EP	Lámina constantan especialmente recocido con base de poliamida resistente y de alta elongación. Se utiliza principalmente para mediciones grandes de tensiones post-cadencia. Disponible con opciones de E, L y LE (puede restringir la capacidad de elongación).	-100° a $+400^{\circ}$ F [-75° a $+205^{\circ}$ C]	$\pm 10\%$ para galga de longitudes menores a 1/8" [3,2 mm] $\pm 20\%$ para 1/8" y más	± 1000	10^4 Las galgas EP muestran desplazamiento del cero bajo deformaciones de ciclos altos.
ED	Lámina isoelástica en combinación con una película de poliamida dura y flexible. Factor de galga alta y prolongada vida de fatiga. Excelente para mediciones dinámicas. No se utiliza normalmente en mediciones estáticas debido a las características de salida térmica muy altas.	Dinámica: -320° a $+400^{\circ}$ F [-195° a $+205^{\circ}$ C]	$\pm 2\%$ no lineal en los niveles de tensión mayores a $\pm 0,5\%$	± 2500 ± 2200	10^6 10^7
WD	Galga isoelástica totalmente encapsulada con cables conductores de alta resistencia. Se utiliza en una amplia gama de aplicaciones de medición de tensión dinámica en entornos severos.	Dinámica: -320° a $+500^{\circ}$ F [-195° a $+260^{\circ}$ C]	$\pm 1.5\%$ no lineal en los niveles de tensión mayores a $\pm 0,5\%$	± 3000 ± 2500 ± 2200	10^5 10^7 10^8
SD	Equivalente a la serie WD, pero con puntos de soldadura en lugar de cables conductores.	Dinámica: -320° a $+400^{\circ}$ F [-195° a $+205^{\circ}$ C]	$\pm 1.5\%$ Ver nota de arriba	± 2500 ± 2200	10^6 10^7
EK	Lámina de aleación K en combinación con un base de poliamida resistente y flexible. Se utiliza principalmente en donde se requiere una combinación	Normal: -320° a $+350^{\circ}$ F	$\pm 1.5\%$	± 1800	10^7

	de resistencias de rejilla mayor, estabilidad a temperatura elevada y mayor flexibilidad de la base. Se suministra con opción DP.	<p>[−195° a +175°C]</p> <p>Especial:</p> <p>−452° a +400°F</p> <p>[−269° a +205°C]</p>			
WK	Galga de aleación K totalmente encapsulado con cables de alta resistencia. La más amplia gama de temperaturas y la capacidad más extrema del medio ambiente que cualquier medidor de uso general cuando se requiere compensación de la temperatura de sí mismo. Opción W disponible en algunos modelos, pero restringe tanto la vida de fatiga como la temperatura máxima de operación.	<p>Normal: −452° a +550°F</p> <p>[−269° a +290°C]</p> <p>Especial:</p> <p>−452° a +750°F</p> <p>[−269° a +400°C]</p>	±1.5%	<p>±2200</p> <p>±2000</p>	<p>10⁶</p> <p>10⁷</p>
SK	Galga de aleación K totalmente encapsulado con puntos de soldadura. Los mismos usos de serie WK, pero desclasificación para temperatura máxima y el entorno operativo, debido a los puntos de soldadura.	<p>Normal: −452° a +450°F</p> <p>[−269° a +230°C]</p> <p>Especial:</p> <p>−452° a +500°F</p> <p>[−269° a +260°C]</p>	±1.5%	<p>±2200</p> <p>±2000</p>	<p>10⁶</p> <p>10⁷</p>
S2K	Rejilla de aleación K laminada a 0.001" en [0,025 mm] de espesor, respaldo de poliamida de alto rendimiento, con una capa de poliamida laminada para encapsular totalmente la rejilla y los puntos de soldadura. Contiene puntos de soldadura grandes para facilitar la fijación del cable.	<p>Normal: −100° a +250°F</p> <p>[−75° a +120°C]</p> <p>Especial:</p> <p>−300° a +300°F</p> <p>[−185° a +150°C]</p>	±1.5%	<p>±1800</p> <p>±1500</p>	<p>10⁶</p> <p>10⁷</p>

Figura III-1 "Precision Strain Gages". Adaptado Vishay Precision Group (2010).

ANEXO IV

**TABLA DE SELECCIÓN DEL NÚMERO STC DE UNA GALGA
EXTENSIOMÉTRICA.**

Número S-T-C	Coeficiente de Expansión		Material Común.
	Por cada °F	Por cada °C	
00	0.8	1.4	Invar, aleación de Fe-Ni
	0.3	0.5	Cuarzo, fusionado
	0.0	1.4	Silicato de Titanio*, policristalino
03	3.0	5.4	Alúmina, calentado
	2.7	4.9	Molibdeno *, puro
	2.4	4.3	Tungsteno, puro
	3.1	5.6	Circonio, puro
05	5.1	9.2	Vidrio, soda-cal-sílice
	5.5	9.9	Acero inoxidable, ferrítico (410)
	4.8	8.6	Titanio, puro
	4.9	8.8	Aleación de titanio, 6Al-4V *
06	6.4	11.5	Berilio, puro
	6.0	10.8	Hierro fundido, gris
	7.0	12.6	Inconel, aleación Ni-Cr-Fe
	6.7	12.1	Inconel X, aleación Ni-Cr-Fe
	7.5	13.5	Monel, aleación Ni-Cu
	6.6	11.9	Níquel-A, aleación Cu-Zn-Ni
	6.3	11.3	Aleación de acero, 4340
	6.7	12.1	Acero, Carbón, 1008, 1018 *
	6.0	10.8	Acero, inoxidable,
	5.7	10.3	Envejecido (17-4PH)
	5.0	9.0	Acero, inoxidable,
			Envejecido (17-7PH)

			Acero, inoxidable, Envejecido (PH15-7Mo)
09	9.3	16.7	Cobre-berilio, Cu 75, BE 25
	10.2	18.4	Bronce, Fósforo, Cu 90, Sn 10
	9.2	16.5	Cobre, puro
	9.6	17.3	Acero, inoxidable, austenítico (304 *)
	8.0	14.4	Acero, inoxidable, austenítico (310)
	8.9	16.0	Acero, inoxidable, austenítico (316)
13	12.9	23.2	Aleación de aluminio 2024-T4 *,
	11.1	20.0	7075 T6; Latón, cartucho,
	13.0	23.4	Cu-Zn 30 70; Estaño, puro
15	14.5	26.1	Aleación de magnesio *, AZ-318
<p>* Indica el tipo de material utilizado en la determinación de las curvas de salida térmica suministrados con galgas extensiométrica de Micro-Measurements.</p> <p>** Valores nominales a, o cerca de la temperatura ambiente para el coeficiente de temperatura de los valores de expansión.</p>			

Tabla AIIV-1. "Precision Strain Gages". Adaptado Vishay Precision Group (2010).

ANEXO V



PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS EN INSTALACIONES DE NAVISTAR® ESCOBEDO.

ANEXO VI



TABLA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

	Interior del Sistema	Cantidad	Unidad de medida	Proveedor
	Cable 24 AWG	100	pies	Newark
	Aluminio 1/8" H14 C10 122x305 cm	1	hoja	La Paloma
	Fuente de poder HWS30-12/A	1	pieza	Newark
	NI cRio-9014	1	pieza	ITESM
	Puerto ethernet	1	pieza	Newark
	Interruptor on-off	2	pieza	Newark
	Porta-fusible	1	pieza	Newark
	Fusible	1	pieza	Newark
	Conector de corriente continua	1	pieza	Newark
	Cable de conexión CC	1	pieza	Newark
	Adaptador USB	1	pieza	Newark
	Conector tipo Banana p/12 v	1	pieza	Newark
	Cable ethernet	1	metro	Steren
	Cable USB	1	metro	Steren
	Indicator led	2	pieza	Newark



1.1 Conexión CAN





	Conector macho CAN	1	pieza	Newark
	Conector Hembra DB9	1	pieza	Newark

1.2 Acelerómetros y Galgas





	Conector sensores p/pin macho	40	piece	Newark
	Pin macho	150	piece	Newark

1.3 Galgas Extensiométricas


	Resistencia de presión	1	pieza	Sensitec
	Tabla fenólica	1	pieza	Steren

Exterior del Sistema		Cantidad	Unidad de medida	Proveedor
	Cable 22 AWG	500	pies	Newark
	Conector hembra	40	pieza	Newark
	Accesorio p/ajuste conector hembra	40	pieza	Newark
	Pin hembra	150	pieza	Newark

2.1 Conexión CAN

	Conector hembra CAN	1	pieza	Newark
	Accesorio p/ajuste de cable CAN	1	pieza	Newark
	Conector CAN al vehículo	1	pieza	Newark
	Pin hembra p/CAN	5	pieza	Newark

2.2 Acelerómetros

	Acelerómetro SD 2220-100	12	pieza	Newark
---	--------------------------	----	-------	--------

2.3 Galgas Extensiométricas



	Acondicionador, neutralizador, adhesivos, etc.	1	pieza	Sensitec
	Galgas Extensiométrica CAE-06-125UN-120	10	pieza	ITESM

Tabla AV-1 Materiales de Equipo de Adquisición de Datos.

ANEXO VII

CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI cRIO-9014.

El primer paso recomendado para lograr la configuración del sistema de adquisición de datos es instalar los software y controladores adecuados para cada equipo en específico y el proyecto en cuestión. En este caso en particular se configura un cRIO. El CompactRIO es un sistema embebido avanzado de control y monitoreo que incluye un procesador en tiempo real, un FPGA y módulos de la Serie C intercambiables en vivo. CompactRIO es programado usando el software de desarrollo de sistemas LabVIEW. Ya que CompactRIO es un sistema de tiempo real distribuido, también utiliza el Módulo LabVIEW Real-Time y opcionalmente el Módulo LabVIEW FPGA. El CompactRIO también requiere la instalación del controlador NI-RIO para soportar los diferentes controladores en tiempo real, chasis reconfigurables y los módulos de la Serie C.

El siguiente software es requerido para programar CompactRIO:

- Sistema de Desarrollo Completo de LabVIEW.
- Módulo LabVIEW Real-Time.
- Módulo LabVIEW FPGA.
- Controlador NI-RIO.
- Xilinx Compile Tools.

El proceso completo para la descarga e instalación del software necesario toma un tiempo aproximado de 3 horas para ser completado de manera adecuada. Para esto sólo hay que completar el procedimiento guiado que se especifica en el asistente de instalación de cada uno de los programas.

El segundo paso en el proceso para la configuración del equipo DAQ es ensamblar el sistema CompactRIO con sus diferentes componentes. Un sistema CompactRIO consiste en cuatro componentes principales: un controlador en tiempo real, un chasis basado en FPGA reconfigurable, módulos de E/S de la Serie C y software. En esta fase del proceso se requiere de una serie de pasos que se describen de la siguiente manera:

1. Conectar el chasis y el controlador.
2. Instalar los módulos de la serie C.
3. Conectar a la red el equipo y energizarlo.
4. Configurar el sistema para primer uso.

Conectar el chasis y el controlador: En primera instancia hay que asegurarse que el sistema no esté conectado a la corriente eléctrica para proceder a la instalación del chasis, posterior a esto se ensambla el chasis con el controlador como se observa en la figura y una vez asegurándose que las dos partes estén firmemente unidas se procede a apretar los dos tornillos que se encuentran localizados en la parte frontal del controlador a 1.3 Nm (11.5 pulg.-lb) de torsión, según recomendaciones del fabricante National Instruments (2015).

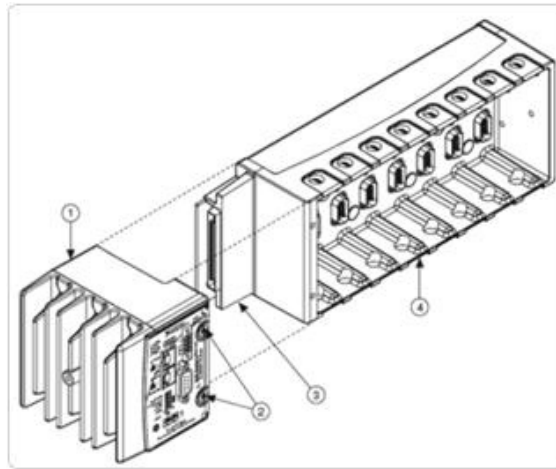


Figura AVII-1 Ensamble del chasis y el controlador (National Instruments, 2015).

Instalar los módulos de la serie C: Es aquí donde se instalan los módulos que se van a utilizar en el proyecto en específico que en este caso son NI 9205, NI 9233, NI 9852 y NI 9853. Aquí es importante seleccionar los puertos donde van a permanecer de manera definitiva cada uno de los módulos ya que a pesar de que los módulos son intercambiables en vivo se recomienda no cambiarlos ya que cuando se programa en el software LabView se toma en cuenta el número de “slot” o ranura en la que se encuentra. Para la instalación solo es necesario insertar el módulo en la dirección adecuada, ya que tiene una forma única de inserción, y presionar firmemente en el costado del conector del módulo de la Serie C hasta que los pestillos (2) fijen al módulo en su lugar.

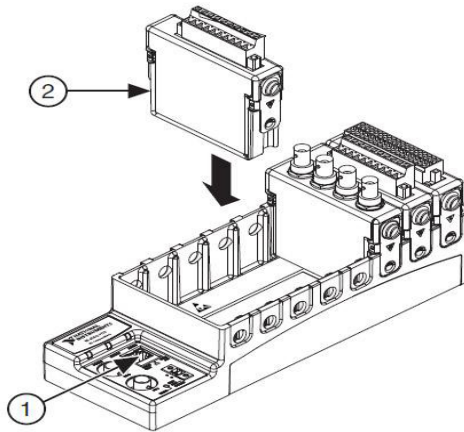


Figura AVII-2 Instalación de módulos de la serie C (National Instruments, 2015).

Conectar a la red el equipo y energizarlo: los sistemas CompactRIO usan Ethernet o USB para la mayoría de la comunicación y configuración a la PC de desarrollo. Para conectar directamente a la computadora, se utiliza un cable Ethernet estándar de par trenzado de Categoría 5 (CAT-5) blindado mismo por el cual se conecta a la red. Antes de conectar la energía es necesario asegurarse de que los interruptores tipo DIP están en posición OFF. Estos interruptores se encuentran en la parte central del controlador y es necesario que se encuentre en esta posición para realizar la configuración, que se detallará más adelante, de manera adecuada.

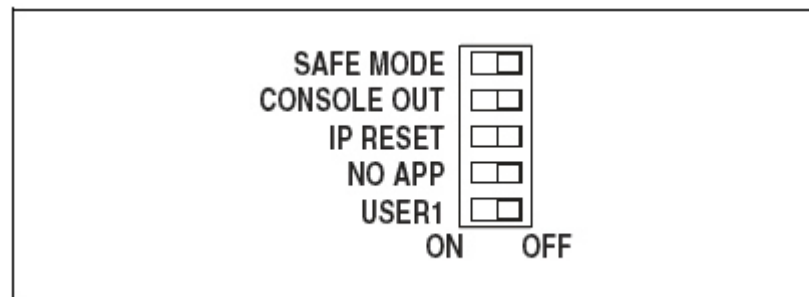


Figura AVII-3 Interruptores tipo DIP (National Instruments, 2015).

El controlador tiene una capa de protección de voltaje invertido. Para energizarlo es necesario seguir los siguientes pasos y conectar una fuente de alimentación al controlador de manera segura:

1. Asegurarse que la fuente de alimentación no está energizada (en otras palabras, conectada a una fuente de energía) antes de conectar cualquier cable.
2. Remover el conector de potencia COMBICON del frente de su sistema CompactRIO al aflojar los dos tornillos integrados que lo sujetan en su lugar.
3. Conectar el polo positivo de la fuente de alimentación a la terminal V1 o V2 y el polo negativo a una de las terminales C en el conector de potencia que se incluye en el sistema CompactRIO. Apretar los polos en el conector al girar los tornillos integrados a un costado del conector y asegurarse que los cables están en su lugar.
4. Volver a colocar el conector COMBICON al sistema CompactRIO.

Configurar el sistema para primer uso: Es en esta parte donde se establecen las configuraciones de red del controlador cRIO para poder establecer la configuración con la computadora, para esto se requiere seguir los siguientes pasos:

1. Deshabilitar las interfaces de redes secundarias, como la tarjeta de acceso inalámbrico en una laptop.

Para la configuración inicial, el software de National Instruments busca el sistema CompactRIO a través de la interfaz de red primaria en la computadora, por tal motivo es necesario deshabilitar todas las interfaces de red adicionales para asegurar que el sistema CompactRIO sea fácil de encontrar en la red.

2. Abrir el programa "Measurement & Automation Explorer" desde el menú de inicio.
3. Desplegar el apartado de "*Remote Systems*".
4. Debe de aparecer el sistema CompactRIO bajo "Remote Systems". Se selecciona para ver las configuraciones de red y después escoger la opción adecuada.

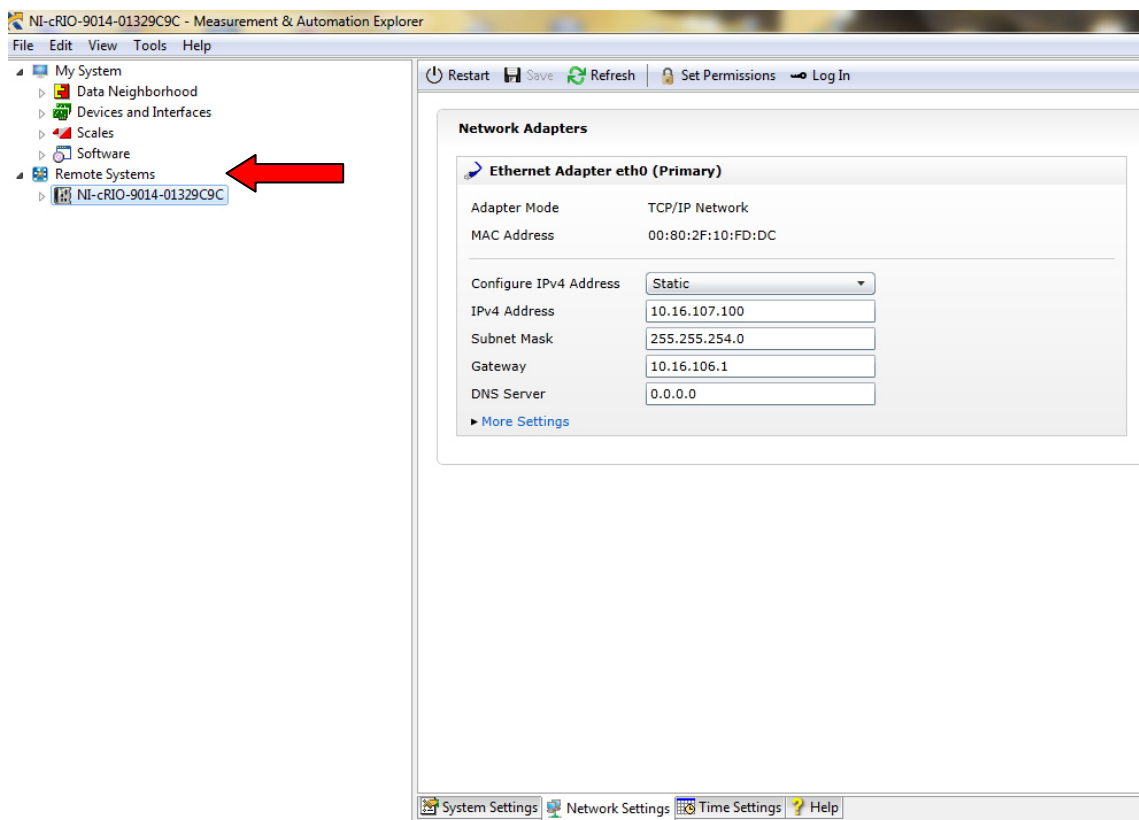


Figura AVII-4 NIMAX detección del sistema cRIO.

5. Es necesario ubicar y seleccionar el sistema CompactRIO bajo "Remote Systems" en "Measurement & Automation Explorer". Hacer clic en la sección "Network Settings" en la parte inferior de la ventana.
6. Proporcionar la siguiente información de la dirección IP y hacer clic en "Save". Haga clic en "Yes" si recibe una advertencia y "OK" para reiniciar el controlador. En este caso en particular se utilizó la siguiente información:

Dirección IP: 10.16.107.100

Subnet mask: 255.255.254.0

Gateway predeterminado: 10.16.106.1

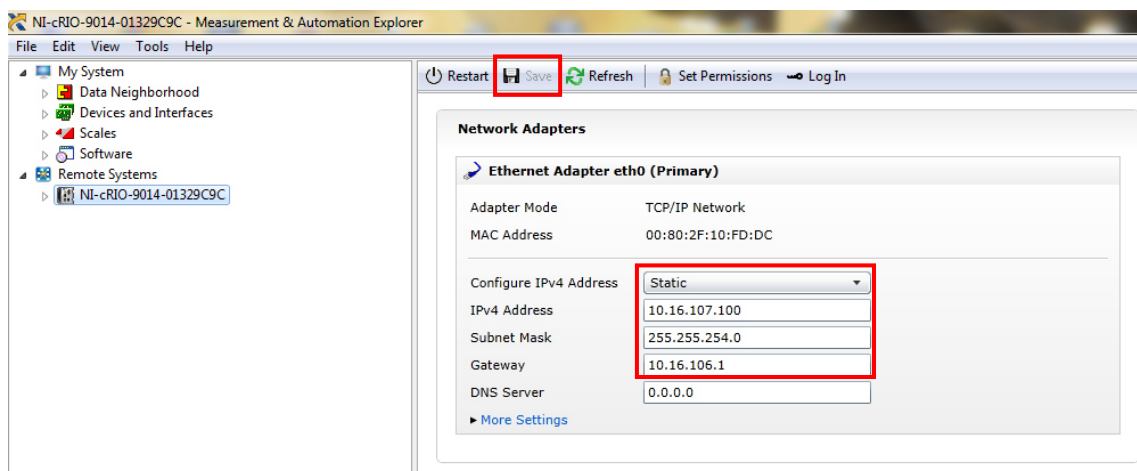


Figura AVII-5 NIMAX IP estática.

Si la computadora no está configurada con una dirección IP, establezca una IP estática. Es necesario revisar que la dirección IP se encuentre libre. Para lo cual se ingresa a cmd en el menú inicio y se teclea el comando ping seguido de la dirección IP, debe de arrojar el mensaje 4 veces de que la dirección se encuentra libre.

7. Una vez comprobado que el IP se encuentra libre hay que configurar la red de la computadora para que se encuentre en modo estático. Esto se hace de la siguiente manera:

- En el Panel de Control, abrir “Network and Sharing Center”.
- Seleccionar “Local Area Connection” desde la lista de conexiones.
- Seleccionar “Properties”.
- Desde la lista con el título, seleccionar Internet Protocol Version 4 (TCP/IPv4).
- Seleccionar Use the following IP address. Si ya fue seleccionada, asegurarse que el sistema CompactRIO está en la misma subred y tiene una dirección IP en el mismo rango.
- Proporcionar lo siguiente:

Dirección IP: 10.16.107.90

Subnet mask: 255.255.254.0

Gateway predeterminado: 10.16.106.1

- Hacer clic en OK y cerrar cada una de las ventanas de configuraciones de red.

8. En Measurement & Automation Explorer (MAX), seleccionar DHCP o Link Local y hacer clic en Save. Clic en Yes para reiniciar el controlador y permitir que la configuración haga efecto.

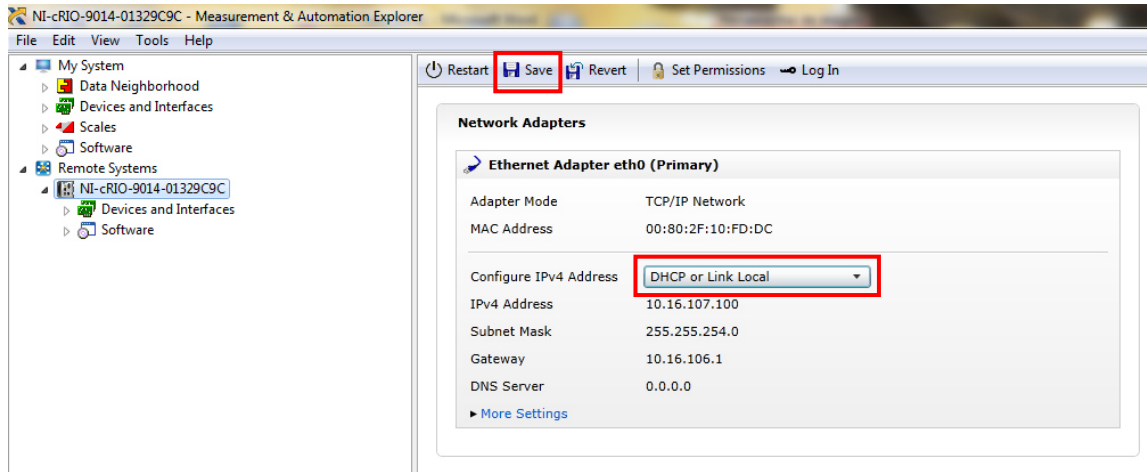


Figura AVII-6 NIMAX selección de configuración de red.

Después que el sistema CompactRIO se reinicia, debe ver la dirección IP asignada y eso indica que ya se está listo para instalar el software en el controlador.

9. En esta parte del proceso La luz de "status" en el controlador CompactRIO debe parpadear dos veces repetidamente. Esto indica que una dirección IP válida está asignada, pero no hay software instalado en el controlador.
10. Se recomienda proporcionar un nombre para el controlador CompactRIO para identificarlo en la red y un comentario que sea visible por otros usuarios. Para esto se selecciona la sección "System Settings" en la parte inferior para proporcionar el nombre y el comentario. Hacer clic en "Save".

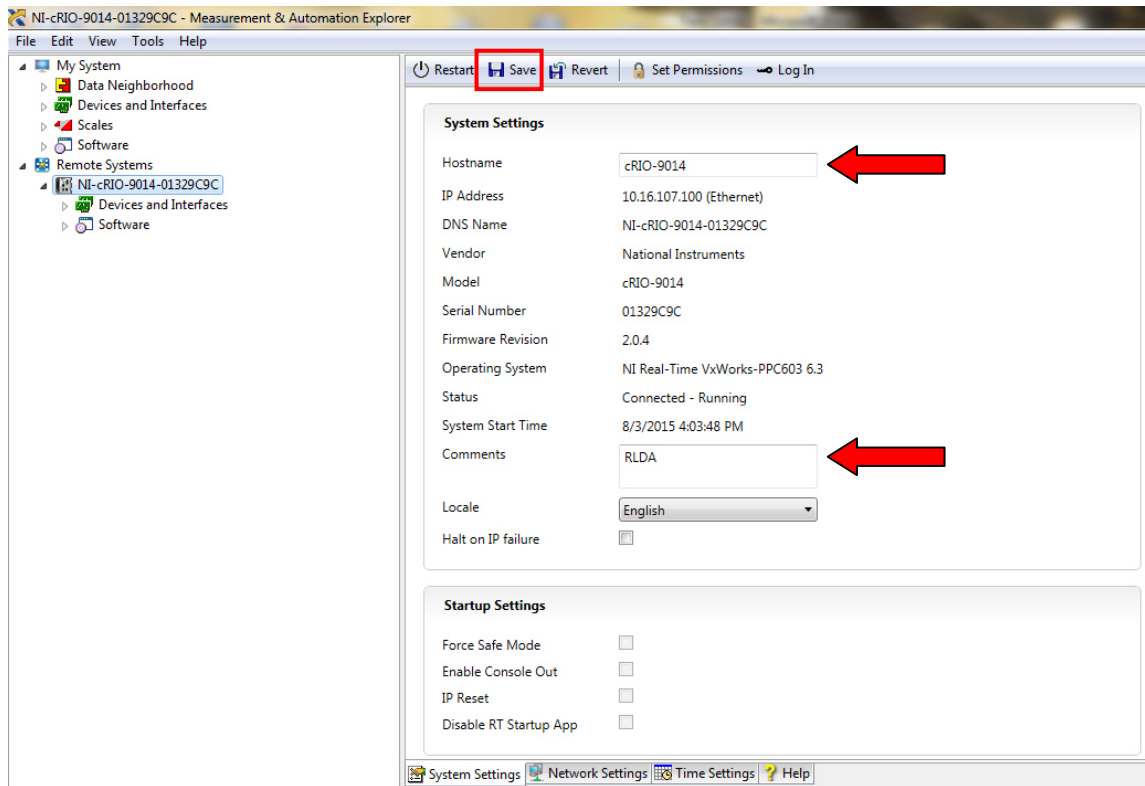


Figura AVII-7 NIMAX asignación de nombre.

11. Posteriormente se expande el dispositivo CompactRIO en “Remote Systems”, se da clic con botón derecho en Software y se selecciona “Add/Remove Software”.
12. Bajo la versión deseada de LabVIEW Real-Time, se selecciona la versión del controlador NI-RIO instalado en la computadora de desarrollo y se da clic en “Next»”.

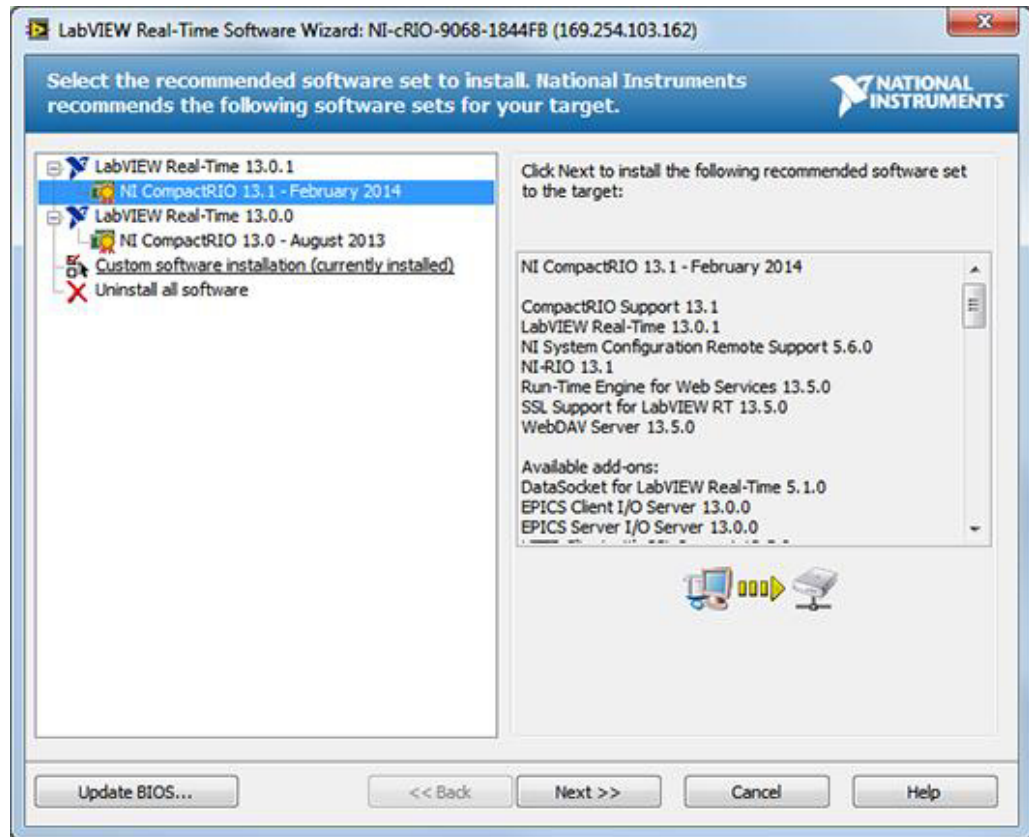


Figura AVII-8 Asistente de instalación de software del controlador (National Instruments, 2015).

- 13.El “Recommended Software Set” predeterminado instala los componentes generalmente requeridos. En esta parte es donde se selecciona todos aquellos módulos que se quieren instalar en caso de que no sean seleccionados de manera predeterminada. Seleccionar soporte “NI Scan Engine” en este menú para comenzar a trabajar.

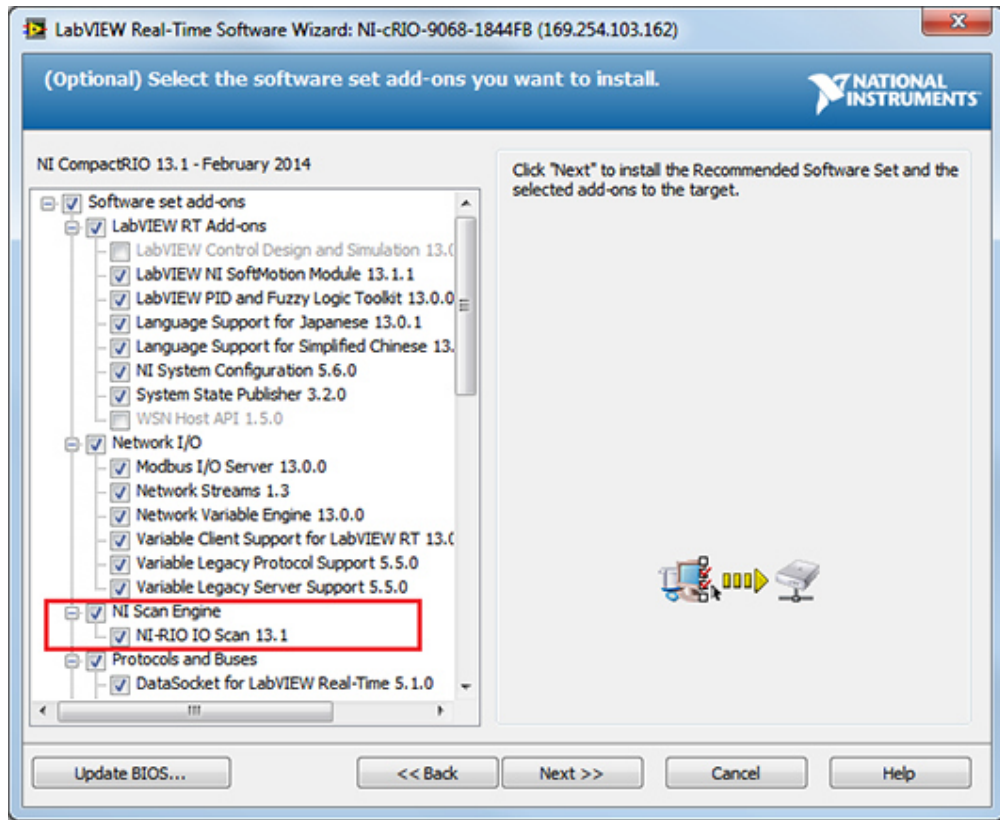


Figura AVII-9 Instalación de módulos en el controlador (National Instruments, 2015).

14. Finalmente se da clic en “Next” para comenzar la instalación del software. Al culminar la instalación presionar en el botón “Finish” y ya se está listo para comenzar a utilizar el equipo cRIO de manera adecuada.

ANEXO VIII

ESCENARIOS REPLICADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS EN RUTA.

ANEXO IX

ESTUDIO PARA DEFINICIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS A INSTRUMENTAR.

ANEXO X

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS EN RUTA.